BIOLOGISCHE VERSUCHSANSTALT DER KAISERL. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN IN WIEN. BOTANISCHE ABTEILUNG. VORST. L. v. PORTHEIM. Nr. 8

ÜBER DEN EINFLUSS VON TEMPERATUR UND LICHT AUF DIE FÄRBUNG DES ANTHOKYANS

VON

L. v. PORTHEIM

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 18. JUNI 1914

Trotz der zahlreichen Untersuchungen, welche wir über das Anthokyan, als Gruppenbegriff gefaßt, besitzen, geben uns auch die neueren Untersuchungen über die Beeinflussung der Farbe des Anthokyans durch äußere Faktoren keinen sicheren Aufschluß. Diese Untersuchungen werden zum Teil mit lebendem Material, zum Teil mit abgetöteten, gefärbten Pflanzenteilen, oder mit Extrakten aus anthokyanhaltigen pflanzlichen Organen durchgeführt.

Die oft sehr deutlichen Farbenwandlungen, welche am Anthokyan zu beobachten sind, haben Tswett[1] veranlaßt, das Anthokyan als »vegetabilisches Chamäleon« zu bezeichnen.

In der Literatur findet sich eine große Anzahl von Angaben über das Auftreten von Farbenänderungen an bereits tingierten Pflanzenorganen, welche in der Natur oder auf experimentellem Wege zur Beobachtung gelangten.

So erwähnt schon Wigand,[2] daß der aus einer im Zellsaft enthaltenen, farblosen Substanz entstehende rote oder blaue Farbstoff unter gewissen Umständen verschwinden, unter anderen wieder zum Vorschein kommen kann.

Der Einfluß, welchen Stoffe, die die Pflanzen durch die Wurzel aufnehmen, auf die Änderung der Blütenfarbe haben, wurde von Molisch,[3] Miyoshi[4] und Vouk[5] studiert. Molisch[6] beobachtete auch, daß die Intensität der Anthokyanfärbung eine verschiedene war, wenn ganze Pflanzen von *Perilla nankinensis* und *Iresine Lindeni* in stickstofffreien und stickstoffhaltigen Nährlösungen und wenn Keimlinge von *Zea Mais* in destilliertem Wasser oder Brunnenwasser kultiviert wurden.

[1] Tswett, 1913, p. 231, 1914, p. 61.

[2] Wigand, 1862, p. 123.

[3] Molisch, 1897.

[4] Miyoshi, 1900.

[5] Vouk K., 1908.

[6] Molisch, 1890, p. 30 (Fußnote).

Die seit langem bekannte Farbenreaktion des Anthokyans,[1] welche nach Zusatz von saueren oder alkalischen Substanzen zu abgetöteten gefärbten Pflanzenteilen oder zu Extrakten aus diesen Organen eintritt, nämlich die Rotfärbung bei Verwendung von Säuren, die Blau-, respektive Grünfärbung bei Verwendung von Alkalien, gab Anlaß zu einer Reihe von Untersuchungen über das Zustandekommen dieser Färbungen.[2]

Für die Bearbeitung meines Themas waren diejenigen Tatsachen von besonderem Interesse, welche sich auf die Beeinflussung des Pigmentes durch Temperatur oder Licht bezogen.

Bisherige Beobachtungen an lebenden Pflanzen.

Eine der ersten Mitteilungen über Farbenänderungen durch Temperaturunterschiede ist wohl die von Ramon de la Sagra.[3] Die Blüten von *Hibiscus mutabilis* waren im botanischen Garten in Havanna je nach der Tageszeit weiß, rosenrot und dunkelrot gefärbt. An einem Tage, an dem die Temperatur nur 19° C erreichte, blieben die Blüten weiß und färbten sich erst am nächsten Tage um die Mittagszeit rot.

Die Spitzen der Strahlenblüten von *Bellis perennis* sind im Frühjahr viel stärker rot gefärbt als später im Jahre. Overton[4] bringt diese Erscheinung mit der niedrigeren Temperatur der Frühjahrsnächte in Zusammenhang.

Über die Wirkung verschiedener Temperaturen auf die Färbung der Blüten berichtet Hildebrand.[5] Die dunkelvioletten Blüten von *Ipomoea Learii* und die hell-himmelblauen von *Ipomoea rubrocoerulea* nahmen an Tagen, an denen die Morgentemperatur nur 2 bis 5° C erreichte, violettrote oder rosarote Färbung an, die später an Tagen mit höherer Temperatur sich öffnenden Blüten hatten wieder normale Färbung.

Exemplare einer rosablütigen *Achillea Millefolium*, die Hildebrand aus Norwegen mitbrachte, entwickelten im Freiburger botanischen Garten an einem sonnigen Orte hellrosa Blüten. Hildebrand meint, daß in diesem Falle wohl der höheren Temperatur der Haupteinfluß zuzuschreiben ist.

Myosotis dissitiflora, im Kalthaus kultiviert (5 bis 7° C), blühte nach Molisch[6] rot, während die im Warmhaus (10 bis 15° C) gezogene blauviolette oder blaßblaue Blüten hatte. Ins Kalthaus gebrachte Exemplare entwickelten im Frühling, als die Temperatur des Raumes eine höhere war, rote Knospen, aber blaue Blüten.

In den Versuchen Baur's[7] mit *Primula sinensis rubra* blühten die Pflanzen bei 15 bis 20° C rot, bei 30 bis 35° weiß.

Auf dieses Verhalten der Blüten der chinesischen Primel hatte Klebs[8] schon anläßlich seiner Untersuchungen »Über Variationen der Blüten« aufmerksam gemacht. Die Pflanzen blühten im geheizten Gewächshause weiß mit rötlichem Schimmer, im Kalthause intensiv rot. Die im Kalthause rotblühenden Primeln bildeten im Warmhause hellrote oder halbweiße und halbrote Blüten aus. Auch bei Primeln mit blauvioletten Blüten kamen im geheizten Gewächshause gleich fast weiße Blumen zum Vorschein, wurden die Pflanzen dann wieder niedrigeren Temperaturen ausgesetzt, so entwickelten sich Blüten mit blauvioletter Farbe. Im Hochsommer war aber die Blütenfarbe der Primeln bei Temperaturen, welche höher waren als die im Warmhause erreichten, rot oder blauviolett.

---

[1] Czapek, I, 1905, p. 471.

[2] Nägeli u. Schwendener, 1877, Wiesner, 1862, 1872, 1906, p. 65, 368, Wigand l. c.

[3] Meyen, II, 1838, p. 448.

[4] Overton, 1899, p. 219 (Fußnote).

[5] Hildebrand, 1904, p. 473, 471.

[6] Molisch, 1905, p. 161.

[7] Baur, 1911, p. 4.

[8] Klebs, 1906, p. 169.

Die Glocken von *Campanula trachelium*, welche von Klebs[1] im geheizten Gewächshause (18 bis 28°, mitunter auch 12°) kultiviert wurden, waren weiß, während die der Pflanzen, die im Kalthause (6 bis 10°) gezogen wurden, hellblau waren. Eine im Frühjahre ins Freie gebrachte Pflanze entwickelte dunkelblaue Blüten, von denen einige noch hellblaue Zipfel hatten. Die intensivste Blaufärbung war im Juni zu beobachten. In kräftiger Gartenerde gewachsene Pflanzen kamen auch im Winter zur Blüte. Die Glocken dieser Pflanzen waren bei Temperaturen über 20° blaß blau bis weiß, bei Temperaturen unter 20° hellblau.

Die blaße Farbe des getriebenen Flieders soll auf der Wirkung der höheren Temperaturen beruhen.[2]

Werden Stengel mit rotgefärbten Blättern von *Veronica chamaedrys* in einem Glase mit Wasser einer Temperatur über 18° C ausgesetzt, so entfärben sie sich (Katić).[3]

Die Petalen von *Erodium gruinum* und *Erodium cicouium*, deren Blüten an kalten Tagen dunkelblau, an heißen weinrot sind, verändern, nach Fitting,[4] wenn sie nicht tödlichen Temperaturen oberhalb 16 bis 20° C ausgesetzt werden, ihre Farbe. Mit zunehmender Temperatur geht die Färbung von blau in Weinrot und Rosa über und verschwindet schließlich fast gänzlich. Nach Abkühlung der Blumenblätter kehrt die ursprüngliche Farbe wieder zurück.

Herr Professor Figdor hatte die Freundlichkeit, mich auf interessante Erscheinungen, die Bildung des Anthokyans an Wurzeln von *Salix rubra* und an Blättern einer *Coleus*-Art betreffend, aufmerksam zu machen. Den Wurzeln der Weidenzweige, die bekanntlich Anthokyan nur im Licht entwickeln,[5] fehlte das Pigment, wenn die Zweige im Licht bei einer Temperatur von zirka 30° C in Wasser kultiviert wurden. Die Blätter von *Coleus* waren im Herbste 1912 im Kalthause unserer Anstalt grün, nur um die Mittelrippe war ein mehr oder weniger breiter Streifen rot gefärbt. Ins Warmhaus gebracht, bildeten die *Coleus*-Blätter den roten Farbstoff reichlich aus.

Bei anderen Fällen von Veränderungen des uns beschäftigenden Pflanzenstoffes, welche durch Temperaturunterschiede veranlaßt werden, kommt auch dem Licht, oder scheint auch den Beleuchtungsverhältnissen eine Rolle zuzukommen.

Bei den von Overton[6] untersuchten Wasserpflanzen (*Hydrocharis morsus ranae, Elodea canadensis,* einige *Utricularia*-Arten) nimmt die Intensität der Rotfärbung mit der zunehmenden Temperatur des Wassers ab und die Färbung kann auch gänzlich verschwinden. Eine höhere Wassertemperatur erfordert, um eine Tinktion der Organe zu ermöglichen, eine um so größere Lichtintensität, während je niedriger die Temperatur ist, ein Licht von um so geringerer Stärke genügt, damit es zur Ausbildung von Anthokyan kommt. Overton fand ferner, daß eine niedrige Temperatur des Wassers auch eine intensive Rotfärbung der Blätter von *Trapa natans* zur Folge hat, und daß die Entstehung des roten Pigments bei *Myriophyllum spicatum* durch niedrige Wassertemperaturen gefördert, durch höhere gehemmt wird.

Die bekannte Erscheinung, daß die Blätter in den Alpen häufiger eine Rotfärbung aufweisen als in der Ebene, führt Overton auf die relativ niedrige Temperatur der Nächte in den Alpen zurück, doch räumt er auch der höheren Lichtintensität in diesen Gebieten einen Einfluß beim Zustandekommen der Färbung ein.

Schon früher hatte Mohl[7] darauf hingewiesen, daß die intensivere Tingierung der Alpenpflanzen, den Gewächsen im ebenen Lande gegenüber, mit dem Wechsel von warmen Tagen mit kalten Nächten in Zusammenhang gebracht werden könnte, und daß auch dem Lichte hierbei eine Rolle zukommt.

---

[1] Klebs, 1906, p. 163 ff.

[2] Klebs, 1906, p. 168. Grafe 1907, p. 282.

[3] Katić, 1905, p. 67.

[4] Fitting, 1912, p. 84.

[5] Schell, 1877.

[6] Overton, l. c., p. 178, 185, 187, 188, 194, 195, 215.

[7] Mohl, 1845, p. 386, 387.

Auch die Erscheinung, daß Blätter von manchen immergrünen Gewächsen und von Pflanzen, deren Blätter nicht im Herbste, sondern erst später zugrunde gehen, im Winter Färbungen zeigen, welche im Frühjahr wieder verschwinden, soll auf den Einfluß von Temperatur und Licht zurückzuführen sein.[1] Eine Wirkung von Veränderungen der Temperatur und Lichtintensität sind wohl auch die Farbenwandlungen, die Kerner[2] und Goebel[3] an Stengeln, Blättern und Blüten beobachteten.

Die Blätter von *Satureja hortensis* sind an Pflanzen, welche im Schatten wachsen, oberseits grün. Dem Lichte ausgesetzte Pflanzen haben violett gefärbte Stengel und Blätter. Die Färbung ist um so intensiver, je stärker die Lichtintensität ist. Die Organe von Pflanzen aber, die in einer Höhe von 2195 *m* gezogen worden waren, nahmen eine dunkel braunviolette Färbung an (Kerner).[4]

Myosotis alpestris, vom Schlern nach München gebracht und bei höherer Temperatur kultiviert, hatte fast farblose Blüten (Goebel).[5] Goebel fand ferner, daß bei einer Form von *Viola alpestris*, bei der nur die oberen Petala blau gefärbt waren, der blaue Farbstoff verloren ging, also gelbliche Blüten erzielt wurden, oder höchstens ein leichter blauer Ton übrig blieb, wenn die Pflanzen bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit oder bei einer Temperatur von 5° C gezogen wurden. Bei der tiefblauen Form war unter den gleichen Bedingungen nur ein Verblassen der blauen Färbung zu beobachten. Die Blüten von *Viola arvensis* im Viktoriahaus des Münchner botanischen Gartens, also warm und feucht kultiviert, verloren vollständig oder bis auf kleine Reste die dunkelvioletten Saftstreifen. Hier werden bei der Feststellung der Ursachen der Entfärbung, vielleicht auch die hinter den Glasfenstern des Gewächshauses veränderten Beleuchtungsverhältnisse berücksichtigt werden müssen.

So meint Mohl,[6] daß die Färbung, welche manche Pflanzen, die im Gewächshause grün sind, annehmen, wenn sie im heißen Sommer im Freien starkem Sonnenlicht ausgesetzt werden, wie *Cactus grandiflorus*, auf eine Wirkung des Lichtes zurückzuführen sei, während der Wärme kein direkter Einfluß zukommt.

Katić[7] untersuchte den Einfluß der Temperatur und des Lichtes auf die Anthokyanentwicklung von abgeschnittenen vegetativen Organen, welche in und auf verschiedenen Medien kultiviert wurden.

Schließlich will ich noch, ohne auf die Besprechung der Bedingungen, welche den Farbenwechsel veranlassen könnten, einzugehen, die zahlreichen Fälle erwähnen, bei denen die Färbung jugendlicher Organe mit deren weiteren Entwicklung verloren geht.

Der Einfluß des Lichtes auf die Intensität und den Farbenton des Anthokyans bei Blüten und anderen gefärbten Pflanzenorganen geht aus den Untersuchungen von Senebier,[8] Sachs,[9] Askenasy,[10] Karzel,[11] und Fischer[12] hervor. Im Dunkeln oder im Licht zur Entwicklung gelangte Blüten von *Campanula medium, Coboea scandens, Crocus vernus, Hyacinthus orientalis, Hydrangea hortensis, Iris germanica, I. pumila* und *Tulipa Gesneriana* waren gleich gefärbt, hingegen blieben die Blüten von *Tropaeolum majus, Cheiranthus Cheiri* und *Papaver Rhoeas* nach Sachs,[13] wenn die ganze Pflanze frühzeitig verdunkelt wurde, ungefärbt, doch trat die Farbe auf, wenn die Pflanzen vorher belichtet worden waren, freilich oft nicht in der normalen Intensität. Aus späteren Versuchen von Sachs geht hervor, daß

---

1 Treviranus, II, 1838, p. 58, Mohl, 1845, p. 384 ff., Molisch, 1890, p. 22.

2 Kerner, I, 1890, p. 364.

3 Goebel, 1908, p. 128.

4 Kerner, l. c., p. 364.

5 Goebel, l. c., p. 128, 129, 130.

6 Mohl, 1845, p. 390.

7 Katić, 1905.

8 Senebier, 1782, zit. nach Vöchting 1893, p. 155

9 Sachs, 1892, p. 179, 229.

10 Askenasy, 1875, p. 498, 1876, p. 177.

11 Karzel, 1906, p. 348, 377.

12 Fischer, 1908, p. 380.

13 Sachs, 1892, p. 216, 218, 219.

wenn nur einzelne Blüten und Infloreszenzen verdunkelt wurden, während die anderen Teile der Pflanzen dem Lichte ausgesetzt waren, die Blüten auch normal oder lichter gefärbt waren. Aus den Sachs'schen [1] Versuchsergebnissen sei hervorgehoben, daß an jüngeren im Dunkeln zur Entwicklung gelangten Blüten von *Tropaeolum majus* mitunter eine Änderung der Farbennuance, normalen gegenüber zu beobachten war, daß bei *Cheiranthus Cheiri* im Dunkeln an den Petalen das Gelb dem Braun gegenüber mehr hervortrat als im Licht und daß sich bei *Antirrhinum majus* unter der Dunkelvorrichtung weiße, rosa geäderte Blüten entfaltet hatten, während eine Blüte im Licht eine dunkelrosenrote Korolle hatte. Sachs [2] konstatierte ferner, daß bei *Petunia*-Blüten der hellviolette Grundton im Licht zerstört wird, während die dunkler violette Aderung erhalten bleibt, und daß sich die auch im Dunkeln schön gefärbte Blumenkrone von *Veronica speciosa*, ebenso wie die im Lichte, vor dem Abfallen entfärbte.

Eine Abhängigkeit der Intensität der Blütenfarbe vom Alter, in dem die Knospen verdunkelt wurden, respektive von der der Verdunklung vorausgegangenen Belichtungsdauer, stellten auch Askenasy [3] und Karzel [4] fest.

Die Färbung der Blüten von *Sempervivum Funkii* wird im Dunkeln abgeschwächt oder verschwindet vollständig. Das gleiche ist der Fall bei der Farbe der Blüten von *Sempervivum Moggridgii* und denen der Rassen der *Tectorum*-Gruppe. Einzelne junge, fast weiße Blätter etiolierter Pflanzen (*S. Funkii*) enthalten rotes Anthokyan (Klebs). [5]

Die Blätter von *Tradescantia zebrina, Perilla nankinensis* und von einigen Unkräutern sind, wenn die Pflanzen im Sonnenlicht gezogen wurden, rot, während sie bei den im Schatten gewachsenen Pflanzen schwachrot tingiert sind. [6]

Die Rötung der Blattorgane von *Rosa rubrifolia* und anderen Pflanzen im Frühjahre, welche im Sommer an Intensität zunimmt, führt Schwertschlager [7] auf Lichtwirkung zurück.

Ältere Knollen von *Solanum Maglia* sind rötlichviolett, am Licht werden sie nach einigen Tagen grauviolett. [8]

Reinhardt's [9] Kulturgeschichte der Nutzpflanzen entnehmen wir eine Angabe über die japanische Chamäleonrose, die ihren Namen dem an ihr zu beobachtenden Farbenwechsel verdankt. Die im Licht rote Rose soll im Schatten, nachdem sie über einen blauen Ton zu einer blaß rosa Farbe übergegangen ist, schließlich eine weiße Färbung annehmen. Ins Sonnenlicht übertragen, wird die Blüte wieder rot.

Klebs [10] beobachtete bei *Sempervivum*-Arten in rotem Licht eine Abschwächung der Blütenfarbe, in blauem Licht waren die Blüten anfangs grünlich oder weißlich gefärbt. Die rote Farbe der Staubblattfilamente, welche gegen Verdunklung viel widerstandsfähiger ist als die der Blumenblätter, kommt bei Blüten, welche sich im Lichte der stark brechbaren Strahlen entfalteten, nicht zum Vorschein.

Blüten von *Sedum spectabile* waren im blauen Lichte fast weiß.

Eine merkliche Veränderung der Farbe blau oder rot blühender Hyazinthen, welche im Dunkeln eine starke Abschwächung der Farbenintensität erfahren, konnte weder in rotem noch in blauem Lichte beobachtet werden.

Keimlinge von *Beta vulgaris* waren in blauem und orangefarbigem Licht nach Mitteilung Pick's [11] rot gefärbt.

---

[1] Sachs, 1892, p. 238, 242, 246.
[2] Sachs, 1892, p. 248, 250.
[3] Askenasy, 1876.
[4] Karzel, 1906.
[5] Klebs, 1906, p. 191, 268.
[6] Molisch 1890, p. 27.
[7] Schwertschlager, 1911 p. 30.
[8] Wittmack, 1913, p. (19).
[9] Reinhardt, 1911, II, p. 461.
[10] Klebs, 1906, p. 220, 272, 273, 207, 201.
[11] Pick, 1883, p. 314.

Bisherige Beobachtungen an abgetöteten Pflanzenteilen und an Anthokyanextrakten.

Farbenwandlungen an abgetöteten Laubblättern wurden von Molisch,[1] an abgetöteten Blütenblättern von Fitting[2] beschrieben. Die violettpurpurnen Blätter von *Perilla nankinensis* werden in siedendem Wasser bis auf einzelne Partien grün, das Blatt färbt sich nach Behandlung mit verdünnten Säuren intensiv rot. Auch die Einwirkung von heißem Wasserdampf und eines Luftbades von 70° hat Grünwerden der Blätter zur Folge. Die gefärbten Blätter von *Coleus Verschaffelti* verhalten sich beim Kochen in Wasser wie die *Perilla*-Blätter. Diese grün gewordenen *Coleus*-Blätter werden beim Eintrocknen an der Luft tiefblauviolett, in feuchter Luft oder in Wasser bleiben sie grün.

Auch bei gefärbten Blättern von *Dracaena*- und *Maranta*-Arten, von *Saxifraga sarmentosa*, *Canna* sp., jungen Blättern von *Populus tremula* und Deckblättern von *Melampyrum nemorosum* hat Molisch solche Verfärbungen in Grün gesehen, und zwar auch in heißer Luft oder in Ätherdampf-Fitting[3] tötete Blüten von *Erodium gruinum* und *E. ciconium* in Chloroformdämpfen und heißem Wasserdampf ab. An den Petalen dieser Blüten traten beim Erwärmen reversible Farbenumschläge auf.

Rotgefärbte Blätter von *Hydrilla verticillata* und *Hydrocharis morsus ranae* entfärben sich, wie Katić[4] berichtet, im Wasser von 45 bis 60°, auch das Wasser ist nicht gefärbt. Der Farbstoff scheint zerstört worden zu sein, da die Anthokyanreaktionen hier versagen. Rote Laubblätter von *Rosa* Marschall Niel verlieren ihre Farbe in Wasser oder Wasserdampf bis zu 65°, in ihnen ist Anthokyan auch nicht mehr nachweisbar.

Die rote Farbe von Rotkrautblättern, welche sich, mit heißer schwefliger Säure im Extraktor behandelt, entfärbten, tritt beim Erkalten wieder auf (Grafe).[5]

Nach Marquart[6] sollen die Auszüge von *Scilla sibirica* im verschlossenen Glase farblos, filtriert lila sein. Aus roten Blüten hergestellte alkoholische Lösungen waren, wie dieser Forscher berichtet, farblos und wurden nach dem Eindampfen rot.

Molisch[7] fand, daß die beim Kochen der oben erwähnten gefärbten Blätter von *Perilla nankinensis* und *Coleus Verschaffelti* erzielten schmutziggrünen, schmutzigvioletten oder gelblichen, fast farblosen Extrakte deutlich die Anthokyanreaktion gaben. Wird der farblose *Coleus*-Extrakt am Wasserbade eingeengt, so färbt sich der Rückstand blauviolett.

Ferner untersuchte Molisch,[8] der wohl als erster Farbenveränderungen von anthokyanhaltigen Extrakten durch Temperatureinwirkung beobachtete, wässerige Extrakte aus Stiefmütterchenblüten und aus Rotkrautblättern. Erstere waren bei gewöhnlicher Temperatur violett, beim Erwärmen blau bis blau grün. Die Rotkrautauszüge waren bei Zimmertemperatur blau, bei 70 bis 100° C rot. Die rote Farbe wandelt sich beim Abkühlen bald in Blau um. Den Extrakt kann man durch Erwärmen und Abkühlen immer wieder rot oder blau gefärbt erhalten. Eine deutlich sauer gemachte Anthokyanlösung ist, welcher Temperatureinwirkung sie auch ausgesetzt wird, stets rot.

Molisch[9] konstatierte auch bei *Delphinium elatum* die Unlöslichkeit des Anthokyans in Alkohol und stellte Unterschiede in den Löslichkeitsverhältnissen der von ihm in den Blütenblättern verschiedener Pflanzen beobachteten Anthokyankörper und des im Zellsaft gelösten Farbstoffes fest (Molisch, 1905,

---

[1] Molisch, 1889, p. 18, 19, 21.
[2] Fitting, 1912, p. 87, 88.
[3] Fitting, l. c., p. 87, 88.
[4] Katić, 1905, p. 37, 60, 69, 81.
[5] Grafe, 1906, p. 979, 1911, p. 769.
[6] Marquart M., 1835, zit. nach Meyen, l. c., p. 443, 444.
[7] Molisch, 1889, p. 21.
[8] Molisch, 1889, p. 19, Fußnote.
[9] Molisch, 1897, p. 56.

p. 153, 150 ff.). Der Farbstoff der Hortensien-Blüten zersetzt sich beim Zerreiben korollinischer Kelchblätter oder beim Kochen derselben in Wasser.

Schwertschlager[1] teilt mit, daß sich das Anthokyan in Wasser in der Kälte leichter als in Methyl- und Äthylalkohol löst, doch ist der blaue Farbstoff mancher Pflanzen (*Salvia verticillata, Echium vulgare, Cichorium Endivia, Delphinium Ajacis* und *consolida*) in Wasser nur schwer löslich. Ein in Wasser unlösliches rotes Anthokyan wurde nicht beobachtet. Schwertschlager berichtet auch über Farbenveränderungen (Gelbwerden, Entfärben), welche gefärbte Organe einiger Pflanzen schon beim Zerreiben in Alkohol oder beim Filtrieren der Extrakte zeigen. Auch Verfärbungen einiger wässeriger Auszüge werden erwähnt. Wird von alkoholischen, gelblichen oder farblosen Auszügen aus Blumenblättern von *Rosa centifolia* und aus gefärbten Organen einiger anderer Pflanzen der Alkohol vertrieben, so ist das Wiederauftreten der ursprünglichen Farbe zu beobachten.

Anläßlich seiner Untersuchungen über Anthokyan fand Grafe,[2] daß der mit 96% Alkohol erzeugte Extrakt aus Rotkrautblättern beim Erwärmen dunkler rot wird, während beim Erkalten die Intensität der Färbung zurückgeht. Bei wässerigen und alkoholischen Rotkrautauszügen, welche durch heiße, schweflige Säure entfärbt wurden, kommt die rote Farbe beim Abkühlen wieder zum Vorschein.

Rupe und Altenburg[3] führen bei Besprechung des Anthokyans in Abderhalden's Biochemischen Handlexikon an, daß die blaue Färbung des Anthokyans durch Extraktion mit Alkohol verschwindet, aber beim Abdampfen der Lösung an der Luft wieder erscheint.

Der Arbeit von Willstätter und Everest[4] über das Anthokyan der Kornblume ist zu entnehmen, daß sich die Lösungen der blauen, roten und violetten Modifikationen dieses Farbstoffes im Wasser respektive Alkohol rasch entfärben, daß aber die ursprüngliche Farbe beim Abdampfen der Flüssigkeit wieder zum Vorschein kommt. Eine Entfärbung oder schwächere Tingierung der Lösungen tritt auch bei Auszügen aus Blüten anderer Pflanzen ein, und zwar durch Isomerisation, während die Farbstoffextrakte aus Mohn-, Eisenhut- und Asterblüten durch Zerstörung des Anthokyans entfärbt werden. Die Löslichkeit des Kornblumen-Pigmentes ändert sich mit der Abspaltung des Zuckers. Das Anthocyanidin, der zuckerfreie Farbstoff, geht als schwefelsaures Salz in Amylalkohol über. Beim Waschen mit viel Wasser ändert sich die rotviolette Farbe in blauviolett. Aus der Abhandlung dieser beiden Autoren ist auch näheres über die Löslichkeitsverhältnisse und über die Haltbarkeit und Entfärbung der Lösungen des Cyaninalkalisalzes, des Cyaninchlorides und des Cyanidinchlorides zu ersehen.

Jüngst hat Tswett[5] auf das Verhalten von absorbiertem Anthokyan, das aus Rotkrautblättern durch Behandlung mit Alkohol und Äther und Schütteln des Gemisches mit wasserfreiem Natriumsulfat gewonnen wurde, hingewiesen. Tswett macht auch darauf aufmerksam, daß sich alkoholische Lösungen bei Zimmertemperatur schwach rötlichgelb färben, genügend verdünnt, sogar farblos erscheinen. Der Rückstand nach dem Abdampfen des farblosen Auszuges hat eine violette Färbung, wird derselbe neuerlich in Wasser aufgelöst, so verschwindet die Farbe. Ein violetter Farbenton tritt in farblosen Rotkrautextrakten auf, wenn zu denselben destilliertes Wasser zugesetzt wird; die violette Färbung ist um so intensiver, je mehr Wasser verwendet wird. Die Intensität nimmt beim Erwärmen zu, beim Erkalten ab.

Wird Alkohol, der sich durch Einlegen von *Matthiola*-Blüten purpurrot oder rot gefärbt hatte, von den Blüten abgegossen, so verschwindet die Farbe rasch vollständig, oder es bleibt nur eine schwache Färbung zurück. Auch der Extrakt von frischen mit Alkohol zerriebenen Blüten entfärbt sich. Die Entfärbung tritt in konzentriertem Alkohol rasch, in Alkohol von schwacher Konzentration langsam ein. Nicht nur die Farbe der alkoholischen Auszüge, auch die der wässerigen Lösungen, des durch Abdampfen

---

[1] Schwertschlager, 1911, p. 17, 39.

[2] Grafe, 1911, p. 769.

[3] Rupe u. Altenburg, 1911, p. 182, siehe auch Frémy u. Clocz, 1854.

[4] Willstätter u. Everest, 1913, p. 194, 195, 196, 209.

[5] Tswett, 1914, p. 64, 65.

des alkoholischen Extraktes gewonnenen Rückstandes, verblaßt (Keeble, Armstrong and Jones, 1913, p. 312, 313).

Fitting[1] berichtet ausführlich über reversible Farbänderungen an Extrakten von *Erodium gruinum*- und *E. ciconium*-Blüten. Behandelt man die Blütenblätter mit absolutem oder 96% Alkohol, so bekommt man einen weinroten, sich später entfärbenden Auszug. Dieser fast farblose Extrakt färbt sich beim Eindampfen weinrot, beim weiteren Einengen erhält man einen violetten Rückstand, dessen wässerige Lösung weinrot gefärbt erscheint. Diese Lösung zeigt beim Erwärmen reversible Farbenumschläge, die schon bei einer geringen Temperaturerhöhung auftreten. Beim Kochen wird der Extrakt gelb oder rotorange und blaßt ab, wird der Auszug nun abgekühlt, so nimmt er die ursprüngliche Farbe und Intensität wieder an. Der durch Zerreiben der Blütenblätter in Wasser erzeugte Brei ist violett. Das Filtrat ist weinrot mit einem Stich ins Blaue, wird aber bald rötlich, dann farblos. Eingedampft gibt dieser farblose Extrakt einen blauvioletten Rückstand, der sich in wenig Wasser mit violetter Farbe löst; wird viel Wasser verwendet, so entfärbt sich die Lösung über Rosa fast vollständig. Beim Eindunsten kommt die Farbe wieder zum Vorschein. Erhitzen des weinroten Filtrates hat erst Rotfärbung, dann Entfärbung zur Folge, ohne daß die alte Farbe beim Abkühlen wieder angenommen wird. Die violette Lösung des Rückstandes wird beim Erwärmen gelbbraun, beim Abkühlen wieder violett. Die durch Salzsäurezusatz rot gefärbten, farblos gewordenen Wasserextrakte und mit Wasser aufgenommene Alkoholextrakte verändern beim Erwärmen ihre Farbe, werden sie dann niedrigen Temperaturen ausgesetzt, so kehrt die frühere Färbung wieder zurück.

Reversible Farbänderungen beim Erhitzen konstatierte Fitting,[2] ferner noch an alkoholischen und wässerigen Blütenextrakten von *Erodium Manescavi, Erodium* sp., *Geranium pratense, G. macrorhizum, G. sanguineum, G. sylvaticum, G. phaeum, G. pyrenaicum, Iris bohemica, Salvia pratensis, Lupinus, Whitlavia grandiflora, Viola tricolor hortensis, Campanula carpathica, Ipomoea* sp., *Azalea* sp., *Papaver pinnatifidum, Paeonia, Agrostemma Githago* und *Dahlia* sp.

Bei manchen Auszügen aus anthokyanhaltigen Blüten und Blättern waren beim Erwärmen keine reversiblen Farbenreaktionen zu beobachten, sie traten aber auf, wenn den Extrakten Salzsäure zugesetzt wurde.[3]

Auf die Färbung der Wasserextrakte von *Pelargonium zonale* hat eine Erhöhung der Temperatur beinahe keinen Einfluß. Solche mit Ammoniak violett gefärbte Auszüge nehmen bei Erwärmung eine rötliche Farbe an und blassen ab, werden sie abgekühlt, so werden sie wieder violett und die Intensität der Färbung nimmt zu.[4]

Masoni[5] extrahierte das Kirschenpigment und erhielt mit Wasser einen violettroten, mit Alkohol einen reinroten Auszug. Die wässerigen Lösungen sind nicht so haltbar wie die alkoholischen. Licht und Wärme haben auf den Farbstoff keinen Einfluß. Naegeli und Schwendener[6] erwähnen, daß der Farbstoff der Kirschen an der Luft blau wird, führen aber diese Blaufärbung auf das in der Luft enthaltene Ammoniak zurück.

Daß die Farbe von Anthokyanextrakten im Licht mehr oder weniger rasch zerstört wird, ist seit langem bekannt.[7]

Sonst sind Untersuchungen über den Einfluß von Licht und Dunkelheit auf Anthokyanextrakte, soviel ich aus der Literatur ersehen konnte, bisher nicht unternommen worden.

---

[1] Fitting, l. c., p. 89, 91.
[2] Fitting, l. c., p. 93, 94.
[3] Fitting, l. c., p. 95.
[4] Fitting, l. c., p. 94.
[5] Masoni, 1913.
[6] Naegeli u. Schwendener, 1867, p. 503.
[7] Meyen, l. c., p. 443.

Ich habe schon vor einigen Jahren anläßlich einer gemeinsam mit E. Scholl durchgeführten Arbeit[1] Beobachtungen über die Veränderung der Farbe von Rotkraut- und Blütenextrakten angestellt. Diese Versuche mußten aber unterbrochen werden und konnten erst nach Fertigstellung von Kammern mit konstanter Temperatur in unserer Anstalt wieder fortgesetzt werden.

Die Aufgabe, die ich mir stellte, war das Studium des Einflusses von Temperatur und Licht auf den Farbwechsel lebender, mit Anthokyan gefärbter Pflanzenorgane und auf anthokyanhaltige Extrakte.

Bei diesen Untersuchungen wurde ich von Frl. Yella Freund, welche einen großen Teil der Versuche gemeinsam mit mir ausführte, unterstützt, wofür ich ihr an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank ausspreche.

Die Farbstoffextrakte wurden durch Kochen der gefärbten Pflanzenteile in Wasser oder in 75% Alkohol gewonnen. Diese Versuchsanstellung wählte ich, um die auch von Fitting[2] untersuchte Frage, ob und in welchem Maße die Farbenumschläge vom Leben der Pflanzenzelle abhängig sind, zu prüfen. Ferner dachte ich auf diesem Wege eventuelle Differenzen in der Widerstandsfähigkeit des Anthokyans, respektive der Farbe verschiedener Pflanzen und verschiedener Organe derselben gegen das Kochen feststellen zu können.

Die Filtrate der alkoholischen und wässerigen Extrakte wurden in Eprouvetten gefüllt und mit Kampfer versetzt, um das Zugrundegehen der Lösung zu verhindern. Auf diese Vorsichtsmaßregel kam ich bald im Laufe meiner Versuche, da die Extrakte, besonders bei hoher Temperatur, leicht durch Fäulniserreger zerstört wurden, wodurch Farbenveränderungen auftraten, die zu Täuschungen Anlaß geben konnten. Die Reagensgläser kamen in Kammern, in denen sie bei konstant bleibender Temperatur diffusem Lichte ausgesetzt wurden. Es standen mir Kammern zur Verfügung, welche auf 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 40° C reguliert waren.[3] Einige Versuche wurden auch bei Lichtabschluß durchgeführt. Eine Anzahl von Untersuchungen bezog sich auf die Frage, ob kurzwellige oder langwellige Strahlen einen Farbenumschlag herbeiführen können. Hier wurden die Eprouvetten unter Senebier'sche Glocken, die mit Lösungen von Kaliumbichromat oder Kupferoxydammoniak gefüllt waren, gebracht. Die Konzentration dieser Lösungen war eine geringe, um das zu den Eprouvetten eindringende Licht nicht zu sehr zu schwächen und so eine Wirkung geringer Lichtintensitäten zu verhindern.

Die Beobachtung des Farbenumschlages erfolgte gewöhnlich am ersten Tage nach der Aufstellung und wurde bei längerer Dauer des Versuches öfters wiederholt.

Versuche mit Extrakten.

Brassica oleracea (capitata).

Beim Kochen der Rotkrautblätter in destilliertem Wasser färbte sich dieses erst schwach blau oder violett, bei längerem Kochen wurde es rot. Der Auszug wurde heiß filtriert, das Filtrat war rot und nahm beim Erkalten eine blaue Farbe an, der rötliche Filterrückstand wurde in kürzester Zeit blau.

Wie früher erwähnt, hatte schon Molisch[4] darauf hingewiesen, daß der rote gekochte Extrakt von Rotkraut bei Abkühlung blau wird. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen stimmen nun für gewisse Temperaturen mit diesem Befunde überein, doch stellte es sich heraus, daß das Auftreten der roten und blauen, ja auch einer violetten Färbung der gekochten Rotkohlauszüge nicht nur von der Einwirkung von Temperatur sondern auch vom Licht abhängig ist. Die wässerigen Anthokyanextrakte von *Brassica oleracea* hatten in den 5- 10- und 15°-Kammern im Licht eine blaue Farbe, mit zunehmender Temperatur trat Rot auf. Dieses Rot wurde um so intensiver, je höher die Temperatur stieg, es zeigen daher die

[1] Portheim u. Scholl, 1908, p. 480.

[2] Fitting, l. c., p. 87.

[3] Przibram, 1913, p. 164.

[4] Molisch, 1889, p. 19, Fußnote.

Extrakte der 20- bis 30°-Kammern eine zunehmende Rötung, bei 35° und 40° trat die rote Färbung meist am ausgeprägtesten hervor. In zahlreichen Fällen ließ sich bei den Extrakten der 5- und 10°-Kammer ein roter Schein beobachten. Ob niedrige Temperatur ebenso wie höhere ein Auftreten der roten Farbe zur Folge hat, ließ sich leider nicht feststellen, da mir niedrigere konstante Temperaturen als 5° nicht zur Verfügung standen.

Bei einzelnen Versuchen wurden einige der in der 5- und 40°-Kammer und im Arbeitsraum bei Zimmertemperatur am Fenster aufgestellten Extrakte durch einen Pappendeckelsturz verdunkelt. Alle diese Extrakte waren röter als die gleichzeitig am Licht aufgestellten.

Unter Senebier'sche Glocken, welche mit Kaliumbichromat-, respektive Kupferoxydammoniak-Lösungen gefüllt waren, gebrachte wässerige Extrakte des Farbstoffes aus Rotkrautblättern zeigten in blauem Licht dem gelben gegenüber eine stärkere Blaufärbung.

Die durch Kochen mit 75% Alkohol erzielten Auszüge des Rotkrautfarbstoffes waren rot mit einem schwachen blauen Schein. Der Filterrückstand war rot und erst nach längerer Zeit färbte sich das Filter vom Rand aus blau. Diese alkoholischen Extrakte verhielten sich ganz verschieden von den wässerigen. Eine auffallende Erscheinung war eine Abnahme der Färbungsintensität bei niedrigen Temperaturen. Die schwächste Färbung konnte man in einem Raum, in dem eine Temperatur von −8 bis −15° erreicht wurde, beobachten. Wurden diese lichtrosa Ektrakte gekocht, so färbten sie sich alsbald intensiv. Die Beobachtung der Farbennuancen alkoholischer Extrakte wurde durch auftretende starke Niederschläge und Trübungen sehr erschwert. Am stärksten waren die Niederschläge bei niedrigen Temperaturen, und zwar bei 5°. Höheren Temperaturen ausgesetzte Lösungen wurden trüb, mit zunehmender Temperatur nahm die Trübung ab, in manchen Fällen waren die Extrakte bei 40° klar.

Die Blaufärbung bei den alkoholischen Extrakten war nie sehr intensiv. Die günstigste Temperatur für das Auftreten des Blau war zwischen 10 bis 25°, von da an trat das Rot stärker hervor. In zwei Fällen (von 6 Versuchen) war die stärkste Blaufärbung bei 5°, nahm dann gegen 40° ab. Wie bei den wässerigen Extrakten war das Blau auch hier im Dunkeln schwächer. Auch im Licht der stärker und schwächer brechbaren Strahlen entsprach das Resultat dem bei den wässerigen Extrakten gefundenen, indem die unter blauen Glocken befindlichen Extrakte stets blauer waren als die unter gelben Glocken.

Ein Farbstoffextrakt, der durch Einlegen der Rotkohlblätter in 75% Alkohol gewonnen wurde, verhielt sich bei 5° Zimmertemperatur und 40° ebenso wie der durch Kochen erzielte Auszug. Das stärkste Blau trat bei Zimmertemperatur auf, bei 5° war die Lösung entfärbt und der Extrakt der 40°-Kammer wies die intensivste Rötung auf. Die Unterschiede waren, trotz der im Vergleich zu den Kochextrakten geringen Farbintensität, sehr deutlich.

Die Farbstofflösungen waren gegen hohe Temperaturen sehr resistent. Nur bei einem Versuche mit alkoholischen Extrakten, welcher besonders lange währte, konnte nach 10 Tagen bei den höchsten Temperaturen, also bei 35 und 40°, eine Bräunung der Lösungen festgestellt werden. Es hat sich wohl hier um eine Zerstörung des Farbstoffes gehandelt.

Molisch's[1] Versuchsergebnisse konnten beim Kochen der blauvioletten oder blauen wässerigen Rotkrautextrakte in einer Eprouvette über einer Bunsenflamme und beim nachherigen Abkühlen derselben in fließendem Wasser bestätigt werden, indem die Lösungen im ersteren Falle rot wurden, während sie im zweiten Falle alsbald ihre ursprüngliche Färbung wieder annahmen. Auch die schwach gefärbten alkoholischen Extrakte niederer Temperaturen färbten sich beim Kochen intensiv rot und kehrten beim Erkalten wieder zur früheren Intensität der Farbe zurück. Die Farbenumschläge der wässerigen und alkoholischen Extrakte waren also reversibel.

Wurden die Lösungen aus den Kammern mit höherer Temperatur in solche mit niedrigerer gebracht oder umgekehrt, so nahmen sie die der nunmehrigen Temperatur entsprechende Farbennuance an oder

[1] Molisch, 1889, p. 19 Fußnote.

es wurde ein ähnlicher Ton erreicht. Es trat also bei den roten wässerigen Lösungen aus der 40°-Kammer in der 5°-Kammer Blau auf, während die blauen aus der 5°-Kammer bei 40° röter wurden.

Die Farbe der bei —15 und +5° erhaltenen schwach gefärbten alkoholischen Extrakte nahm bei 40° bedeutend an Intensität zu.

Die in der 5 und 40°-Kammer im Dunkeln befindlichen wässerigen und alkoholischen Extrakte schienen, ins Licht gebracht, eine blauere Färbung anzunehmen, während die belichteten Extrakte, ins Dunkle versetzt, eine rötere Färbung zeigten.

Matthiola incana.

Die wässerigen Extrakte der rotvioletten Levkojenblüten waren beim Kochen grellrot, beim Erkalten wurden sie rot mit bläulichem Schein. Obzwar die Farbenunterschiede der Extrakte bei den verschiedenen Temperaturen nicht sehr deutlich waren, ließ sich doch feststellen, daß im großen und ganzen auch hier bei den wässerigen Extrakten höhere Temperatur eine Abnahme des Blau zur Folge hatte. Im Dunkeln aufbewahrt, waren die Lösungen mitunter röter als im Licht, doch hatten sie in manchen Fällen auch die Farbe der Lichtextrakte.

Die alkoholischen Extrakte waren beim Kochen tiefrosa und enthielten Blau, beim Erkalten ging die Intensität der Färbung zurück und das Blau nahm ab. Bei niedrigen Temperaturen waren diese Levkojenauszüge rosa, schwach gefärbt, mit zunehmender Temperatur stieg die Intensität der Färbung. Die günstigsten Temperaturen, bei denen Blau in den Lösungen zum Vorschein kam, scheinen bei 25 bis 30° zu liegen, bei höherer Temperatur waren die Lösungen röter.

Im Dunkeln waren auch die schwächsten Färbungen bei 5°, die Lösungen waren röter als die entsprechenden Lichtextrakte.

Paeonia sp.

Die durch Kochen gewonnenen dunkelroten *Paeonia*-Extrakte wurden beim Erkalten dunkelrosa mit Blau. Auch hier konnte, wie bei den Rotkraut- und *Matthiola*-Extrakten, ein Verschwinden der blauen Farbe bei höheren Temperaturen wahrgenommen werden. In die 40°-Kammer ins Dunkle gebrachte Extrakte aus der 5°-Kammer und ins Licht bei 40° gestellte Auszüge aus der 10-, 15- und 20°-Kammer waren röter als die Kontrollösungen. Umgekehrt enthielten die aus der 25-, 30- und 35°-Kammer in die 5°-Kammer ins Licht und aus der 40°-Kammer ins Dunkle übertragenen Lösungen mehr Blau als die entsprechenden Lösungen der andern Kammern. Auffallend war bei diesen Extrakten von *Paeonia* die geringe Widerstandsfähigkeit gegen höhere Temperaturen; am fünften Tag nach der Aufstellung wurden die im Licht und Dunkeln aufgestellten Extrakte der 40°-Kammer schon bräunlich, am zehnten Tag waren auch die Extrakte der 30°-Kammer schon braunrot. Unter Glocken mit Kupferoxydammoniak waren die Extrakte blauer als unter Glocken mit Kaliumbichromat. Manche wässerige Extrakte aus *Paeonia*-Blütenblättern waren abgekühlt rot mit gelbem Stich oder gelblich mit schwachem rosa Ton.

Die alkoholischen Extrakte waren beim Kochen dunkelrot, mitunter mit einem bläulichen Schein, beim Erkalten nahmen sie eine lichte gelbrosa Färbung an. Bei diesen Extrakten nahm von 25° an das Rot zu, das Blau ab. Die Lösungen in der 5°-Kammer waren im Dunkeln röter als im Licht. Am zehnten Versuchstage schienen auch hier die Extrakte der höheren Temperaturen bereits eine Schädigung erlitten zu haben. Die Versuche mit verschieden brechbarem Licht gaben nach zehntägiger Versuchsdauer kein deutliches Ergebnis.

Rosa centifolia.

Bei den wässerigen Kochextrakten der Rose trat wieder die Erscheinung auf, die schon bei den früheren Versuchspflanzen beobachtet werden konnte; die beim Kochen roten Lösungen nahmen beim Erkalten einen blauen Ton an. Die Extrakte waren gegen höhere Temperaturen ganz besonders empfindlich

und wurden braun, respektive gelbbraun. Bei der Prüfung der gelbbraunen Extrakte aus der 35- und 40°-Kammer auf Anthokyan vermittels verdünnter Kalilauge und Salzsäure erhielt man nur eine schwache Reaktion oder sie blieb aus.

Bei einem Versuche, bei dem die Extrakte aus den Kammern mit höheren Temperaturen in die 5°-Kammer gestellt wurden, konnte beim Auszug der 25°-Kammer noch ein entsprechender Farbenumschlag konstatiert werden, während die Lösungen der 30 bis 40°-Kammer nicht mehr in normaler Weise reagierten. Trotz dieser großen Empfindlichkeit wässeriger Extrakte aus den Blütenblättern der Rose ließ sich auch hier die mit steigender Temperatur abnehmende Fähigkeit, Blau zu entwickeln, feststellen.

Bezüglich des Verhaltens dieser Lösungen im Dunkeln ließ sich kein einwandfreies Resultat erzielen.

Die durch Kochen mit 75% Alkohol erzielten roten oder auch Blau enthaltenden Extrakte verhielten sich beim Erkalten nicht gleich. So erhielt ich lichtere oder dunklere rosa Extrakte mit etwas Blau oder auch braunrosa, die sich später in Gelb mit rosa Stich umwandelten, oder schließlich hellgelbe. Die rosa Extrakte nahmen mit zunehmender Temperatur eine intensivere Färbung an und das Blau ging zurück. Bei höheren Temperaturen (30 bis 40°) nahmen die Lösungen bald einen bräunlichen oder gelblichen Ton an. Bei gelben Extrakten beschränkte sich der ganze durch erhöhte Temperatur erzielte Erfolg nur auf eine Steigerung der Intensität. Umkehrversuche führten zu analogen Resultaten wie die mit wässerigen Extrakten.

Syringa persica.

Der beim Kochen gelblich-rosa oder rosa gefärbte, wässerige Extrakt von *Syringa* war beim Erkalten schmutzig rötlichviolett. Bis zu 25° nahm Rot zu, dann tritt eine Entfärbung in Gelbrosa oder Gelbbraunfärbung ein. Im blauen Licht war die Lösung dunkler rosa als im gelben Licht.

Der alkoholische Auszug war beim Kochen rosa oder violett, beim Erkalten bräunlich gelb, mit einem rötlichen Schein. Von 15 bis 40° konnte eine Intensitätszunahme der Färbung, welche immer mehr von Rötlichbraungelb in Gelb, Braungelb, respektive Grünlichbraungelb überging, konstatiert werden. In blauem Licht hatte die Lösung eine intensivere gelbe Farbe als im gelben.

Iris germanica.

Der wässerige Extrakt aus Petalen von *Iris germanica* ist beim Kochen dunkelrot, beim Abkühlen blau oder blauviolett. Die Färbung ist am intensivsten bei 5 bis 20°, von da an verschwindet das Blau immer mehr und bei den höchsten Temperaturen werden auch die am meisten Rot enthaltenden Extrakte erzielt. Auch Verdunklung hat ein Verschwinden des Blau den im Licht aufgestellten Kontrollösungen gegenüber zur Folge, am deutlichsten trat dies bei den in Zimmertemperatur aufgestellten Auszügen zutage.

Auf die Ursache des Farbenunterschiedes zwischen Licht- und Dunkelextrakten weisen Versuche bei Zimmertemperatur hin, welche mit Blütenauszügen unternommen wurden, die einerseits direkt am Fenster dem Lichte ausgesetzt wurden oder in einem Licht geringerer Intensität zur Aufstellung gelangten und die andererseits unter Senebier'schen Glocken mit Kaliumbichromat oder Kupferoxydammoniak kamen. Die Lösungen hatten in starkem Licht eine blaue, in schwachem Licht eine violette Farbe, unter den blauen Glocken waren sie viel blauer als unter den gelben. Die Wirkung von weißem und blauem Licht einerseits und von rotem Lichte und Dunkelheit andererseits war die gleiche.

Die in Alkohol gekochten *Iris*-Blüten gaben einen dunkelroten Extrakt, der mehr Blau enthielt als der wässerige Extrakt. Beim Erkalten waren die Auszüge rosa mit blauem Schein, mit zunehmender Temperatur bis zirka 25° stieg die Intensität der Färbung, von da ab begann die Blaufärbung zu verschwinden und die Lösungen färbten sich allmählich gelbrosa. Auch hier war die stärkste Blaufärbung bei Zimmertemperatur im Licht; daß dies mit der direkten Einwirkung des Lichtes in Verbindung zu bringen

ist, geht daraus hervor, daß die im gleichen Zimmer im Schatten gehaltenen alkoholischen Lösungen mehr rosa waren, als die am Fenster dem Licht ausgesetzten. Auch im Dunkeln enthielten die Lösungen weniger Blau als die im Licht befindlichen. Waren diese letzteren gelbrosa oder bräunlich, so war die Intensität der Färbung im Dunkeln eine größere. In verschiedenfarbigem Lichte war eine Förderung des Blau unter Glocken, die eine Kupferoxydammoniaklösung enthielten, festzustellen.

Centaurea cyanus.

Das Wasser färbt sich beim Kochen der Strahlenblüten von *Centaurea cyanus* rötlich, abgekühlt nimmt die Lösung eine sehr schwach rosa oder gelbrosa Farbe, die auch etwas Blau enthalten kann, an.

Die schwach rötliche Färbung war aber nur bis zu Temperaturen von 25° zu beobachten, bis zu welcher Temperatur freilich die Intensität der Färbung stieg, von da ab waren die Lösungen gelblich.

Da die Farbintensitäten der vorerwähnten Extrakte nur sehr geringe waren, so setzte ich Salzsäure zu, wodurch eine starke Rötung erreicht wurde. Auch bei diesen Lösungen war von 25° an eine Veränderung der Farbe zu konstatieren.

Bei niedrigen Temperaturen licht rosa oder gelblich rosa tingierte alkoholische Kornblumenauszüge verfärbten sich mit zunehmender Temperatur allmählich in Gelb.

In der Eprouvette gekocht, werden wässerige gelblich rosa Lösungen des Kornblumenfarbstoffes rosa, alkoholische, fast farblose Extrakte werden dunkler rosa mit einem blauen Stich; in kaltem Wasser abgekühlt, kehrt die frühere Farbe und Intensität bei beiden Auszügen rasch wieder zurück.

Gentiana acaulis.

Die gekochten Rot enthaltenden Wasserextrakte von *Gentiana acaulis*-Blüten nahmen beim Filtrieren eine graublaue Färbung an, die sich dann, je nach der Temperatur, der die Extrakte ausgesetzt wurden, veränderte. Bis 25° hatten sie eine schön blaue Farbe, von da ab kam Rot hinzu. Temperaturen von 40° hatten eine Entfärbung zur Folge, die Lösungen waren grauviolett und gaben keine Anthokyanreaktion mehr. Bei längerer Versuchsdauer trat auch bei niedrigeren Temperaturen, selbst schon bei 20°, eine Entfärbung in Grau ein. Bei einem Versuche mit Extrakten aus der 5-, 10-, 15- und 20°-Kammer, die am dritten Tag nach der Versuchsaufstellung in die 30°-Kammer gebracht wurden, zeigte sich der der höheren Temperatur entsprechende Farbenumschlag. Im Dunkeln scheint sich die ursprüngliche Farbe längere Zeit zu halten, denn ich konnte selbst bei längerer Versuchsdauer im Dunkeln noch eine Blaufärbung wahrnehmen in Fällen, wo im Licht bereits ein Umschlag in Grau oder Gelb stattgefunden hatte. Versuche in farbigem Licht ergaben entweder keinen Unterschied oder kein einwandfreies Resultat.

Bei zwei Versuchsreihen mit alkoholischen Extrakten war die Farbe der Lösungen bei 5° grünlichgelb, mit zunehmender Temperatur ging die Grünfärbung zurück. Im Dunkeln erhielt sich die grünliche Farbe selbst dann, wenn im Licht die Lösung bereits einen gelben oder bräunlichen Ton angenommen hatte. Eine Versuchsreihe stimmte mit den eben mitgeteilten Ergebnissen nicht überein, hier war am ersten Tage nach der Aufstellung bei höheren Temperaturen (25 bis 40°) das Auftreten eines violetten Tones zu beobachten, 5 Tage später waren alle Lösungen gelblich oder bräunlich. Auch beim Dunkelversuch fehlte die grünliche Färbung.

Viola odorata.

Die wässerigen Extrakte sind beim Kochen rotviolett, beim Erkalten blauviolett. Mit steigender Temperatur nimmt das Rot zu, es scheint bei 5 bis 15° die günstigste Temperatur für die Blaufärbung zu sein und hiebei auch die Konzentration eine Rolle zu spielen. Bei höheren Temperaturen (von zirka 30° an) findet Verfärbung in Graublau, Grünlichblau, Braun und Gelb statt.

Alkoholische Extrakte, beim Kochen rotviolett, werden beim Erkalten lichter. Mit zunehmender Temperatur wird die Färbung intensiver, das Rot nimmt zu, doch werden höhere Temperaturen, von 30° an, schlecht ertragen, es tritt Braunfärbung auf.

Dahlia sp.

Destilliertes Wasser färbt sich, wenn in demselben braunrote Georginenblüten gekocht werden, erst gelblich, später dunkelrot mit gelblichem Stich. Das Filtrat dieses Extraktes wird in kaltem Wasser abgekühlt gelblich, die Intensität der Färbung geht zurück. Neuerlich gekocht, tritt die intensiv rote Farbe mit gelbem Ton wieder auf.

Die Farbe der gekochten alkoholischen Extrakte ist rot mit blauem Ton. Beim Abkühlen nimmt die Intensität der Farbe stark ab, die Auszüge erscheinen nun hellviolett. Solche Lösungen werden wieder erwärmt dunkelviolett und nehmen eine um so rötere Farbe an je länger gekocht wird.

Versuche mit lebenden Pflanzen.

Im Anschlusse an die Beobachtungen über Farbstoffextrakte wollte ich auch Untersuchungen an lebenden, gefärbten Pflanzenteilen durchführen, doch zeigte es sich hier, daß die Feststellung eventueller Farbenunterschiede oft äußerst schwierig und erst nach genauestem, häufigem Vergleich mit den Kontrollpflanzen möglich ist. Außerdem scheinen manche Pflanzen die höheren Temperaturen, die Einwirkung konstanter Temperaturen und sonstige Bedingungen unserer Versuchsanstellung nicht zu vertragen. Es kommt daher diesen Versuchen mit lebenden Pflanzen nur der Charakter von Vorversuchen zu, bis es gelingen wird, die richtige Methode zur Kultur der Pflanzen in unseren Thermostaten ausfindig zu machen.

Ich verwendete Blüten und Blütenstände teils abgeschnitten, teils an eingetopften Pflanzen. Ferner wurden Keimlinge von Rotkraut zu den Untersuchungen benützt. Es wurde dafür gesorgt, daß den Pflanzen genügend Wasser zur Verfügung stand. Töpfe und Gläser mit den Versuchspflanzen wurden auf Tassen gestellt, die mit Wasser gefüllt waren und über das Ganze ein Sturz gestülpt.

Syringa persica.

Die Infloreszenzen mit grünlichen Knospen wurden in Gläsern mit Wasser in den Kammern von 5, 10, 25 und 30° aufgestellt. Vier Tage nach der Aufstellung waren die sich entfaltenden Blüten bei 5 und 10° innen bläulichviolett gefärbt, während in den Kammern mit höheren Temperaturen die Blüten stark entfärbt, fast weiß waren.

Rosa canina.

Zweige mit eben aufgehenden Knospen von *Rosa canina* kamen in die 5-, 15- und 25°-Kammer. Nach zwei Tagen waren die Blüten, die einer Temperatur von 5° ausgesetzt worden waren, dunkelrosa, fast rot; ganz junge, eben erst entfaltete Blüten zeigten die intensivste Rotfärbung. Bei 15° hatten die Blüten eine lichtere rosa Farbe als bei 5°, in der 25°-Kammer waren sie noch lichter. Die stärkste Rotfärbung beobachteten wir in den 15- und 25°-Thermostaten auch an den jüngsten Blüten.

Iris germanica.

Abgeschnittene Infloreszenzen kamen in wassergefüllte Behälter. Versuche bei 5, 10, 15 und 25°. In der 5- und 10°-Kammer waren die Blüten tiefer blau als die Blüten der Freilandpflanzen; bei 15 und 25° waren die Blüten lichter als bei den niedrigeren Temperaturen und rötlicher.

Centaurea caynus.

Abgeschnittene Blütenstände von *Centaurea* wurden in die 5-, 15-, 25- und 30°-Kammer gestellt. Bei 5 und 15° waren sie am zweiten Tage nach der Aufstellung tiefblau, bei 25° etwas, bei 30° gänzlich entfärbt. Zwei Tage später waren nur noch die Blüten der 5°-Kammer tiefblau, alle anderen Blüten hatten die Farbe verloren.

Myosotis.

Zu den Versuchen wurden Topfpflanzen und abgeschnittene Infloreszenzen verschiedener *Myosotis*-Formen verwendet.

Das dunkelste Blau beobachtete ich an Blüten, deren Infloreszenzen bei 10 oder 15° gehalten wurden. Die Blüten der 5°-Kammer waren hellblau, es scheint, daß sie hier mitunter auch einen röteren Farbenton annehmen. Bei höheren Temperaturen (25, 30°) ist die Tendenz vorhanden, rosa, beziehungsweise weiße Blüten zu entwickeln. Die bei 5, 10 und 15° erzielten Resultate sind den Versuchsergebnissen Molisch's[1] mit *Myosotis dissitiflora* insoferne ähnlich, als auch hier 10 bis 15° die günstigsten Temperaturen für die Ausbildung blauer Blüten waren.

Viola odorata.

Durch Temperaturunterschiede hervorgerufene Farbenveränderungen der Blüten waren bei Veilchen nur sehr schwer zu konstatieren, da nur ganz geringe Differenzen in der Färbung bei meinen Versuchen erreicht werden konnten. Nach meinen Erfahrungen scheinen die Veilchenblüten bei 5° das meiste Rot in der Farbe zu enthalten; mit zunehmender Temperatur sind sie mehr blau, freilich auch lichter gefärbt.

Brassica oleracea (capitata).

Samen von Rotkraut wurden auf Keimschalen ausgesät. Die 3 bis 4 *cm* hohen Keimlinge wurden in Schalen, die mit Fließpapier ausgelegt waren, gebracht und das Ganze mit einem Glassturze bedeckt. Die Aufstellung erfolgte in den Kammern von 5, 15, 25 und 30°. Die Hypocotyle dieser Keimlinge waren zur Zeit des Versuchsbeginnes schwach rotviolett, an der Nutation dunkler gefärbt. Später hatten die Hypocotile der Keimlinge aus der 5°-Kammer eine hell-rotviolette, die der 15°-Kammer eine dunkel blauviolette, die der 25°-Kammer eine dunkel rotviolette, die der 30°-Kammer eine viel heller rötliche Färbung.

Nach dieser kurzen Mitteilung über die an lebenden, gefärbten Pflanzenorganen beobachteten Farbveränderungen kehre ich nun zur Besprechung meiner Untersuchungen über die Anthokyanauszüge zurück.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die untersuchten Farbstoffextrakte auf gleiche Temperatur- und Lichteinwirkungen in verschiedener Weise reagieren und daß auch das Lösungsmittel auf die Art der Reaktion von Einfluß ist.

Vergleicht man die Farbenunterschiede, die bei den höchsten und niedrigsten angewendeten Temperaturen erzielt wurden, also die nach längerem Kochen und nach Abkühlen bei 5° und Zimmertemperatur auftretenden Farbennuancen,[2] so fällt vor allem auf, daß alle meine Wasserextrakte während des Kochens Rot in verschiedenen Nuancen und Intensitäten enthalten, während bei den abgekühlten Farbstofflösungen Blau hinzukommt (Rotkohl, *Matthiola*, *Rosa*, *Syringa*, *Iris*), oder an Intensität zunimmt (*Viola*), das Rot kann sogar gänzlich verschwinden (Rotkohl, *Iris*, *Gentiana*), doch können diesbezüglich große Differenzen beobachtet werden, wie bei den Extrakten von Rotkraut, *Iris* und *Gentiana* auf der einen und *Matthiola* auf der anderen Seite. Bei den ersteren können reinblaue Färbungen erreicht werden, bei den letzteren herrscht das Rot stets vor. Die abgekühlten Farbstofflösungen der *Centaurea*-Strahlenblüten nahmen einen rosa oder gelblich-rosa Ton an, mitunter ist auch ein schwacher blauer Schein

---

[1] Molisch, 1905, p. 161.

[2] Beim Kochen nehmen die Extrakte manchmal zunächst Färbungen an, die dann in andere übergehen, bis schließlich ein Farbenton erreicht wird, welcher während des Kochens nun erhalten bleibt. Auch beim Abkühlen tritt in den Auszügen erst allmählich die für die betreffenden Temperaturen charakteristische Farbe auf, so zum Beispiel wird der wässerige, gekochte Rotkrautextrakt beim Erkalten erst rotviolett, dann blauviolett, endlich blau.

wahrzunehmen. Auch bei manchen Auszügen aus *Paeonia*-Blütenblättern fehlte das Blau. Der beim Kochen dunkelrote Extrakt aus *Dahlia*-Blüten wurde beim Abkühlen gelblich und war nur schwach gefärbt.

Obgleich die Alkoholextrakte eine rote Färbung beim Kochen hatten, unterschieden sie sich in den meisten Fällen deutlich in der Intensität und Nuance der Farbe von den Wasserextrakten. Bei einigen alkoholischen Auszügen war während des Kochens Blau vorhanden wie bei denen von Rotkohl, *Matthiola, Iris, Centaurea, Paeonia, Dahlia* und *Viola*, und zwar bei den fünf ersteren mehr als in den gekochten wässerigen Extrakten. Die Farbenintensität der abgekühlten Alkoholauszüge nahm, den gekochten gegenüber, stark ab und der blaue Ton der Rotkraut-, *Matthiola-, Iris-, Centaurea-, Paeonia-* und einiger Rosen-Extrakte wurde beim Abkühlen sehr abgeschwächt oder war überhaupt nicht mehr festzustellen. Bei Farbstofflösungen von *Paeonia, Rosa, Syringa* und *Centaurea* kam beim Erkalten zu der rötlichen oder rosa Färbung noch Gelb oder Braun hinzu, die von *Gentiana* waren grünlich gelb oder schmutziggelb gefärbt.

Aus dem Gesagten gehen auch zur Genüge die Differenzen zwischen abgekühlten Alkohol- und Wasserextrakten hervor.

Sehr verschieden war die Widerstandsfähigkeit der einzelnen Anthokyanauszüge gegen hohe Temperaturen.

Sehr resistent sind die Wasser- und Alkoholextrakte von *Matthiola* und Rotkraut [1] und die alkoholischen Auszüge von *Paeonia,* weniger die Wasserextrakte von *Paeonia* und *Iris;* die Alkoholextrakte aus *Iris*-Blüten scheinen eine noch geringere Resistenz gegen hohe Temperaturen zu besitzen. Als empfindlich gegen höhere Temperaturen erwiesen sich die wässerigen und alkoholischen Blütenauszüge von *Rosa, Gentiana* und *Viola*; die alkoholischen Anthokyanlösungen von *Viola* sind vielleicht widerstandsfähiger als die wässerigen.

Auch in den Thermostaten verhielten sich die wässerigen und alkoholischen Anthokyanextrakte der verschiedenen Pflanzenarten gegen Temperatur und Licht nicht gleich. Der gleichen Temperatur ausgesetzt, unterschieden sich die einzelnen Auszüge, was den Farbenton, die Intensität der Färbung und die bei manchen abgekühlten Extrakten zu beobachtende gelbliche Farbe betrifft. Gemeinsam war allen wässerigen Farbstofflösungen, welche bei niedrigeren Temperaturen blau waren oder deren rote Farbe etwas Blau enthielt, daß bei höheren Temperaturen die Blaufärbung zurückgedrängt, die Rotfärbung dort, wo nicht ein Umschlag in einen gelblichen Ton eintrat, begünstigt war. Bei einigen dieser Auszüge war das Verschwinden des Blau von zirka 25° an deutlich erkenntlich, so bei *Matthiola, Iris, Centaurea, Gentiana,* während der Farbenumschlag bei den Extrakten der anderen Versuchspflanzen schon bei niedrigeren Temperaturen festzustellen war. Auf das Hervortreten des Rot sind wohl auch mitunter die niedrigsten Temperaturen von Einfluß (alkoholische und wässerige Rotkraut-, wässerige Veilchen-Extrakte).

In alkoholischen Lösungen, welche beim Kochen einen blauen Ton zeigten, scheint sich, wenn der Auszug einmal abgekühlt wird, das Blau bei Temperaturen über 25 oder 30° nicht mehr mit der ursprünglichen Intensität entwickeln zu können, auch hier verschwindet meist das Blau der Färbung bei höheren Temperaturen und es treten rötliche oder gelbliche Töne auf.

Erniedrigung der Temperatur hat ein Zurückgehen, Erhöhung der Temperatur eine Steigerung der Farbenintensität von Alkoholextrakten zur Folge.

Belichtete Wasser-, respektive Alkoholextrakte von Rotkraut, *Matthiola, Paeonia* und *Iris* enthielten mehr Blau als verdunkelte, welche daher röter waren. Die Blaufärbung der wässerigen Auszüge aus Enzianblüten konnte im Dunkeln noch zu einer Zeit beobachtet werden, zu der die Lösungen im Lichte schon eine Farbenveränderung in Grau oder Gelb wahrnehmen ließen. Wässerige und alkoholische

---

[1] Grafe (1906, p. 980) erwähnt die große Widerstandsfähigkeit des Rotkraut-Anthokyanextraktes gegen Wasserbadwärme und teilt ferner mit, daß der wässerige Farbstoffauszug der schwarzblauen *Ligustrum vulgare*-Beeren nach längerem Kochen die Alkalireaktion nicht mehr zeigt.

Auszüge von Rotkraut und *Iris* und wässerige von *Paeonia* hatten in blauem Licht eine blauere Färbung als im gelben Licht.

Alle diese Eigenschaften des Anthokyans respektive der Extrakte gefärbter Pflanzenorgane ermöglichen es dem Experimentator, durch Abänderung der Temperatur- und Lichtverhältnisse, jederzeit nach Wunsch blau, violett oder rot gefärbte Farbstofflösungen einer bestimmten Pflanzenart hervorrufen zu können.

An lebenden Pflanzen konnten leider noch nicht mit solcher Sicherheit mittels der angewandten Methode Farbenänderungen hervorgebracht werden, doch war auch hier die Tendenz, auf die Einwirkung gewisser Temperaturen mit der Annahme eines bestimmten Farbentones zu reagieren, ersichtlich.

Im Laufe der Untersuchungen konnte ich die Beobachtung machen, daß Kochextrakte der gleichen Pflanzenorgane nicht immer dieselbe Farbennuance hatten, und daß auch der Farbenton, den die Auszüge beim Abkühlen annahmen, mitunter etwas anders ausfiel, als erwartet werden konnte. Manchmal stimmten auch die Resultate einzelner Versuchsreihen in den Kammern mit konstanter Temperatur mit den Ergebnissen, welche ich bei der Mehrzahl der Versuche mit einer Pflanzenart erhalten hatte, nicht ganz überein. Ich vermutete nun, daß diese Differenzen in der Färbung und in den Farbenumschlägen auf die verschiedene Konzentration der Extrakte zurückzuführen sein dürften, die ja nicht mit gleich konzentrierten Lösungen gearbeitet werden konnte. Um Beweise für die Richtigkeit dieser Vermutung zu erlangen, wurden Versuche eingeleitet, bei denen die durch Kochen in Wasser gewonnenen Extrakte mit destilliertem Wasser verdünnt wurden. Molisch[1] und Fitting[2] haben die Ansicht ausgesprochen, daß Dissoziationsvorgänge beim Zustandekommen der Farbenänderungen pflanzlicher Auszüge beteiligt sein könnten, dieser Frage hoffte ich nun auch vermittels der Verdünnungsversuche näher treten zu können.

Versuche mit verdünnten Farbstoffextrakten.

Die zu diesen Untersuchungen verwendeten konzentrierten wässerigen Lösungen wurden im Verhältnis 1 : 1 und von 1 : 3 mit destilliertem Wasser verdünnt.

Brassica oleracea (capitata).

Bei 5°, 10° und 15° war in den verschieden konzentrierten Lösungen meist nur ein Unterschied in der Intensität der Färbung wahrzunehmen. Bei höheren Temperaturen hingegen nahmen die Lösungen umso früher einen röteren Ton an, je verdünnter sie waren, und zwar umso früher, je höher die Temperatur der Kammer war. Das Auftreten des roten Farbentones in schwach konzentrierten Auszügen war bei niedrigeren Temperaturen zu beobachten als der Umschlag in Rot in stärker konzentrierten Lösungen.

Viola odorata.

Bei wässerigen Lösungen aus Veilchen hatte ich schon früher gefunden, daß die Extrakte bei 10 bis 15° blau waren. Auch bei diesen neuen Versuchen zeigte es sich, daß bei diesen Temperaturen die am schönsten blau gefärbten Lösungen entstanden. Bei niedrigeren Temperaturen waren die Extrakte röter, auch bei höheren Temperaturen. Bei zirka 30° nahmen sie eine graublaue, gelbliche oder auch bräunliche Färbung an. Je verdünnter die Auszüge waren, umso mehr blau enthielten sie. Die verdünntesten Lösungen waren mitunter auch bei 5° hellblau.

---

[1] Molisch, 1889, p. 19, Fußnote, 21.

[2] Fitting, l. c., p. 98.

Matthiola.

Die konzentrierteren Extrakte waren rot mit schwachem blauem Schein, je weniger konzentriert sie waren, desto weniger intensiv war die Färbung, aber umso mehr Blau trat sofort bei Verdünnung mit destilliertem Wasser auf. Mit zunehmender Temperatur nahm in allen Konzentrationen die Blaufärbung ab, die intensivere Blaufärbung der schwächeren Konzentrationen den stärkeren Konzentrationen gegenüber blieb aber bestehen.

Durch Verdünnung der Wasserextrakte aus Rotkraut, Veilchen und Levkojen kam es also bei der gleichen Temperatur zu einer Farbenänderung.

Beobachtungen an Blüten, die behufs Extraktion des Farbstoffes gekocht worden waren, zeigten, daß die Entstehung des Farbenumschlages des Anthokyans vielleicht auch noch auf eine andere Ursache, als auf Temperatur- und Lichteinwirkung oder Verdünnung zurückzuführen ist.

Schon Molisch[1] erwähnt anläßlich seiner Untersuchungen über *Coleus Verschaffelti*, daß durch Kochen in Wasser grün gewordene Blätter dieser Pflanze beim Eintrocknen an der Luft tiefblauviolett werden, was nicht eintritt, wenn die Blätter in feuchter Luft oder in Wasser aufbewahrt werden.

In absoluten Alkohol eingelegte frische Blumenblätter von *Pelargonium zonale*, Rosen und Mohn werden fast farblos. Das gelöste Anthokyan wird in einen farblosen Körper übergeführt, die Anthokyankörper dieser Blätter behalten ihre Farbe (Molisch, 1905, p. 150, 151, 156).

Grafe[2] zog den Farbstoff der Blumenblätter von *Pelargonium zonale* mit absolutem Alkohol aus. Diese, nach Verdunsten des Alkohols trockenen, gelblichweißen Blätter wurden in kurzer Zeit an der Luft intensiv rotviolett, sie behielten aber tagelang ihre gelblichweiße Farbe, wenn sie in einen Exsiccator über Ätzkali gebracht wurden und dafür gesorgt wurde, daß die Luft im Exsiccator frei von Kohlensäure war.

Mir fiel es auf, daß Blüten von *Centaurea*, *Viola*, *Rosa* und *Paeonia* in Wasser oder Alkohol gekocht, beinahe oder gänzlich farblos wurden. Goß man die Extraktionsflüssigkeit ab, so nahmen die Blüten, im Becherglase oder auf Fließpapier zum Eintrocknen gebracht, neuerlich Färbungen an, die mitunter sehr intensiv waren.

Die Kornblumenblüten verfärbten sich in kochendem Wasser erst rosa, bei längerem Kochen schwach rosa oder weißlich. In Alkohol gekocht, trat an den Blüten erst ein vom normalen verschiedener blauer Ton auf, später waren sie schwach rosa tingiert oder entfärbt. Beim Eintrocknen wurden die mit Wasser behandelten Blüten blau und violett. Als das Wasser bei einem Kochversuche mit *Centaurea*-Blüten abgegossen und das Becherglas nun vorsichtig erwärmt wurde, färbten sich die am Boden des Gefäßes befindlichen Blüten violett und blau, während die Blüten, welche noch mit etwas Wasser in Berührung waren, Rosafärbung zeigten.

Die durch Kochen in Wasser oder Alkohol ganz oder fast farblos gewordenen Petalen von Rosen und Pfingstrosen nahmen beim Eintrocknen je nach der verwendeten Flüssigkeit verschiedene Färbungen an; die Wasserblätter waren intensiv rosa, die Alkoholblätter intensiv rotviolett.

Blaufärbung war an in Wasser gekochten, entfärbt gewesenen, eingetrockneten Blütenblättern von *Viola* zu beobachten, während an eintrocknenden Petalen, welche in Alkohol gekocht worden waren, eine blaue Färbung mit schwachem rötlichem Stiche zum Vorschein kam.

Diese Wahrnehmungen und die Angaben in der Literatur brachten mich auf den Gedanken, daß vielleicht auch durch Aufnahme oder Abgabe von Wasser Veränderungen der Anthokyanfarbe herbeigeführt werden könnten.

Eine ähnliche Annahme spricht Molisch[1] anläßlich des Befundes, daß der nach Eindampfen der durch Kochen von *Coleus*-Blättern erhaltenen gelblichen oder farblosen Flüssigkeit am Wasserbade

---

[1] Molisch, 1889, p. 21.

[2] Grafe, 1911, p. 774.

zurückbleibende Rückstand sich wieder blauviolett färbte, aus. Er sagt: »Speziell darauf gerichtete Untersuchungen werden vielleicht entscheiden, ob das Wiedererscheinen dieser Farbe auf einer Anhydridbildung des Anthokyanweiß, wie ich der Kürze halber das farblose Produkt nennen will, oder auf der Verflüchtigung beziehungsweise Dissoziation eines basischen Körpers oder auf anderen Ursachen beruht.«

Auch Fitting's[1] Beobachtungen an Alkohol- und Wasserextrakten von *Erodium*-Blüten scheinen für meine Anschauung zu sprechen. Beim Eindampfen des Alkoholextraktes erhielt Fitting einen violetten Rückstand, der in Wasser gelöst eine weinrote Farbe, welche später abblaßte, annahm. Die Wasserextrakte waren erst weinrot mit einem Stich ins Blaue, später rötlich, endlich farblos. Der beim Einengen dieser farblosen Flüssigkeit erzielte Rückstand hatte eine blauviolette Färbung. In wenig Wasser löste sich der Rückstand mit violetter Farbe, wurde mehr Wasser verwendet, so blaßte die Farbe über rosa ab.

Im Jahre 1913 ist in den Proceedings of the Royal Society eine Abhandlung erschienen, in der dem Wasser beim Auftreten und Verschwinden von Färbungen an Pflanzenorganen eine Rolle zugeschrieben wird. Die Verfasser dieser Abhandlung Keeble, Armstrong und Jones[2] berichten, daß sich Blütenblätter von *Matthiola incana* in Alkohol entfärben; in Wasser gebracht, nehmen sie die ursprüngliche Färbung wieder an, und zwar umso früher, je wärmer das Wasser ist. Ein ähnliches Wiederauftreten der Farbe ist, nach den genannten Forschern, auch an den Blüten anderer Pflanzen und an den gefärbten vegetativen Teilen mancher Gewächse zu beoaachten. Auch in 99% Alkohol + Zitronensäure entfärbten sich die purpurroten Petalen von *Matthiola*, so daß sie eine schwach blaßrote Farbe annahmen; nachher in destilliertes Wasser getaucht, trat die purpurrote Färbung bald auf.

Ob die Farbe zum Vorschein kommt oder verschwindet, hängt von dem Wassergehalte der Zellen ab; nach den genannten Forschern kommt es je nach der Menge dieses Wassers zur Aktivierung von Oxydasen oder von reduzierenden Stoffen.

Versuche über den Einfluß von Wasserentziehung und -zufuhr auf die Färbung der durch Wasser oder Alkohol extrahierten Stoffe.

Anthokyanhaltige Organe verschiedener Pflanzen werden für die Herstellung von Reagenzpapieren für alkali- und acidimetrische Untersuchungen verwendet.[3] Dies erfolgt in der Weise, daß Filtrierpapier mit Extrakten aus diesen Organen durchtränkt wird. Ich verwendete nun diese Methode für meine Zwecke. Filtrierpapierstreifen wurden in wässerige und alkoholische Auszüge aus Blüten, respektive Blütenblättern von *Centaurea cyanus, Paeonia* sp., *Rosa centifolia, Viola odorata, Dahlia* sp. und aus Blättern von *Brassica oleracea* (*capitata*) getaucht und darin längere Zeit belassen. Dann kamen die Papierstreifen auf eine Asbestplatte, unter der eine kleine Flamme brannte und wurden nun erhitzt, bis sie gänzlich trocken waren, wobei es öfters zu einer Versengung des Papieres kam.

Die mit wässerigem oder alkoholischem Extrakte von *Centaurea*-Blüten imprägnierten Papiere, welche beim Herausnehmen aus den Lösungen farblos waren, färbten sich in der oben beschriebenen Weise erhitzt alsbald rosa und violett.

Die Farbe des Cyaninalkalisalzes, das von Willstätter und Everest[4] aus Kornblumenblüten hergestellt wurde, nimmt in einer konzentrierten wässerigen Lösung in ein bis zwei Tagen an Intensität ab; in sehr verdünnter Lösung verschwindet die Farbe bald, beim Erwärmen sofort. Wird aber eine konzentrierte Lösung auf Fließpapier zum Eintrocknen gebracht und dem Sonnenlicht ausgesetzt, so ist die Farbe gegen den Einfluß von Licht und Luft sehr resistent.

---

[1] Fitting, l. c., p. 89, 91.

[2] Keeble, Armstrong und Jones, 1913, p. 309 bis 312, 317.

[3] Glaser, 1901, p. 123.

[4] Willstätter und Everest, 1913, p. 219.

Schwach schmutzig rosa tingierte Filtrierpapierstreifen aus Wasserextrakten von hellrosa gefärbten *Paeonia*-Blütenblättern wurden beim Erhitzen rosa, die gelblichen Papierstreifen aus den Alkoholextrakten nahmen eine violette Färbung an. Auch die nach dem Durchfiltrieren der wässerigen Lösung farblos gebliebenen Filter färbten sich auf der Asbestplatte rosa. Wurden die Filter nun über nicht zu heiße Wasserdämpfe gehalten, so blaßte die Farbe etwas ab und trat, wenn man die Papiere auf die Asbestplatte zurückbrachte, wieder stärker hervor. Das beim Filtrieren der alkoholischen Extrakte verwendete Papier (farblos oder Spur rosa) nahm beim Erhitzen eine schwach violette Farbe an, die nachher bei Zimmertemperatur blässer wurde.

Bei Versuchen mit braunroten Blüten einer *Dahlia* sp. war das Filter der wässerigen Auszüge gelblich, erwärmt färbte sich dasselbe rosa, dann grünlich, dann blau, schließlich violett. Die rosa tingierten Filter der alkoholischen Extrakte wurden beim Erwärmen blau, später violett. Filtrierpapierstreifen, welche zwei Tage in wässerigen und alkoholischen Lösungen verblieben waren, zeigten an den Partien, die aus der Flüssigkeit herausragten, eine blaue Färbung, während die eingetaucht gewesenen Partien der Wasserextraktpapiere graublau mit grünlichen Flecken, die der Alkoholextraktpapiere violett waren. Auf der Asbestplatte nahmen die graublauen Papiere über Grün und Blau eine violette, die Alkoholextraktpapiere eine dunkelviolette Farbe an. Mit wässerigen und alkoholischen Auszügen aus Georginenblüten durchtränkte Filtrierpapierstreifen wurden Temperaturen von 5, 10, 15, 20, 30, 35 und 40° C ausgesetzt. Die Wasserextraktpapiere waren stets lichter gefärbt als die Alkoholextraktpapiere. Die Farbe der Papiere bei 5 bis 20° enthielt viel Blau, am meisten bei 15°. Ein deutliches Zunehmen der Rotfärbung war von 25° an mit steigender Temperatur zu konstatieren.

Auf den blauen mit einem wässerigen Auszuge aus *Viola*-Blüten durchtränkten Filtrierpapierstreifen trat beim Erhitzen erst eine violette, dann eine graublaue Färbung auf, die, als das Papier einer geringeren Temperatur ausgesetzt wurde, an Intensität abnahm. Neuerlich erhitzt kam eine violette Färbung wieder zum Vorschein. Die Reihenfolge der Farben bei den farblosen mit einem alkoholischen Extrakte imprägnierten Papieren war beim Erhitzen: blau, violett, graublau. Zu ähnlichen Ergebnissen führten auch die Versuche mit den Filtern.

Das Verhalten der in den Thermostaten (5 bis 40°) aufgehängten Wasserextrakt- und Alkoholextraktpapiere war das Folgende: Das Rot wurde in der Farbe der Papiere bei 20 oder 25° stärker, oder es kam erst bei diesen Temperaturen zum Vorschein. Die Intensität der Färbung nahm von 5 bis 20° ab; am intensivsten tingiert waren die Papiere bei 25°, während die höheren Temperaturen ausgesetzten Streifen wieder schwächer gefärbt waren. Papiere der 40°-Kammer wiesen mitunter einen kräftigeren Farbenton auf, als die der 30 und 35-°-Kammer.

Die beim Herausnehmen aus den Wasser- und Alkoholextrakten von Rosenblättern rosa gefärbten Papierstreifen wurden beim Halten über die Flamme erst entfärbt, dann wieder rosa, schließlich intensiv violett tingiert. Bei den mit alkoholischen Extrakten behandelten Papieren ging nach längerem Erhitzen das Blau etwas zurück. Die Farbe der violett gewordenen Wasserextraktpapiere blaßt, wenn das Erhitzen sistiert wird, ab. Übrigens konnte man auch an den im Zimmer trocknenden Papieren erst eine Entfärbung, dann Violettwerden beobachten.

Über eine Versuchsreihe mit wässerigen und alkoholischen Extrakten aus Rosenblättern, bei der die Filtrierpapierstreifen in die Kammern mit konstanter Temperatur kamen, gibt ein Auszug aus dem Versuchsprotokolle Aufschluß. Die Angaben beziehen sich auf die Färbung der Papiere am achten Tage nach Beginn des Versuches.

Versuch, aufgestellt am 13./VI. 1913, beobachtet am 20./VI. 1913.

Wässerige Extrakte:	Alkoholische Extrakte:
5° sehr schwach blauviolett;	blauviolett, wenig Rot enthaltend, Färbung viel intensiver als bei dem Wasserextrakte.
10°	blauviolett, wie bei 5°.
15° schwächer gefärbt.	
20° beinahe farblos, gelblich;	blauviolett, mehr Rot als bei bei 5°, Intensität aber viel schwächer.
25° Rot mit wenig Blau, wieder intensiver gefärbt, Färbung lichter als beim Alkoholextrakt;	rotviolett, Intensität wieder stärker.
30° Intensität schwächer als bei 25°;	rotviolett, Intensität schwächer als bei 25°.
35° Intensität wie bei 30°, aber röter;	schwach rotviolett, Intensität schwächer als bei 30° und etwas röter.
40° Intensität wie bei 30°, aber noch röter;	noch röter als bei 30°, schwächere Intensität.

Am 25. Juni findet sich folgende Notiz im Protokolle:

Die Alkoholextraktpapiere sind dunkler tingiert als die Wasserextraktpapiere. Bei beiden Kategorien der Papiere sinkt die Intensität der Färbung von 5 bis 20°, bei 25° ist eine Steigerung der Intensität zu beobachten, dann nimmt sie bis 40° wieder ab.

Der Feuchtigkeitsgehalt betrug in oen Kammern: 5, 10, 15° zirka 80%, 20° zirka 70%, 25° zirka 50%, 30, 35, 40° zirka 40%.

Besonders viele Versuche unternahm ich mit Filtrierpapferstreifen, welche in Rotkrautextrakte getaucht wurden. Schon beim Filtrieren der Lösungen fiel es auf, daß sich die Filter nach dem Durchfließen der wässerigen Auszüge alsbald blau färbten, während sie rot blieben und sich nach längerer Zeit erst vom Rande aus blau tingierten, wenn alkoholische Extrakte verwendet worden waren. Erhitzte man die blauen Wasserextraktpapiere auf der Asbestplatte, so wurden sie violett bis rot, hielt man sie nun über Wasserdämpfe, so nahmen sie die ursprüngliche Färbung wieder an, und färbten sich, auf die erwärmte Asbestplatte zurückgebracht, wieder rötlich. Dieser Farbenwechsel ließ sich durch Erhitzen und durch Einwirkung von Wasserdampf beliebig oft wiederholen. Auf die Asbestplatte zum Trocknen gelegte rosa Alkoholextraktpapiere wurden erst blau, später rot.

In den Thermostaten aufgehängte feuchte Filtrierpapierstreifen zeigten nach beiläufig einer Stunde schon deutliche Veränderungen. Mit wässerigen Rotkrautauszügen imbibierte Papiere hatten bei 5, 10 und 15° eine blaue Farbe, bei 20° waren sie blauviolett, bei 25° rotviolett und in den Kammern mit noch höheren Temperaturen (30, 35, 40°) nahm die Rötung mit der Erhöhung der Temperatur zu. Die ursprünglich rosa gefärbten Alkoholextraktpapiere waren, Temperaturen von 5, 10 und 15° ausgesetzt, heller blau als die entsprechenden Wasserextraktpapiere. Bei höheren Temperaturen ausgesetzten Papieren war eine Zunahme des Rot festzustellen.

Wasserextraktpapiere, die in der 35- und 40°-Kammer eine rotviolette Färbung, und Alkoholextraktpapiere, welche in den beiden Kammern eine rötliche Farbe angenommen hatten, wurden in den 5°

Thermostaten übertragen. Am nächsten Tage waren die mit wässerigen Lösungen behandelten Papierstreifen ebenso gefärbt wie die von Anfang an der Temperatur von 5° ausgesetzt gewesenen Papiere, sie waren hellblau. Die Farbe der mit alkoholischen Rotkrautextrakten durchtränkten Papierstreifen der 35°- und 40°-Kammer enthielt nun bei 5° etwas mehr Rot als die der Kontrollpapiere, die etwas lichter blau waren als die Wasserextraktpapiere.

Aus zwei Versuchen, deren Resultate im nachfolgenden zusammengestellt sind, ist das Verhalten der Färbung bei verschiedenem Feuchtigheitsgehalte der Luft schön zu ersehen. Die Papierstreifen hingen in der 5°-Kammer, in der vermittelst eines Psychrographen ein Feuchtigkeitsgehalt von zirka 80% festgestellt wurde und in der 40°-Kammer, mit einem Feuchtigkeitsgehalte von zirka 40%, frei oder sie waren bei 5° in einem Exsiccator, bei 40° in einer feuchten Kammer untergebracht.

			Wasserextrakte	Alkoholextrakte von Rotkraut
			Ursprüngliche Färbung der Papiere: blau	rot
I.	40°	Beobachtung am Tage der Aufstellung	freihängend: rot	rot
			feuchter Raum: blau	blau
		Beobachtung nach 2 Tagen	feuchter Raum: blau mit roten Stellen, das Wasser war verdunstet	blau mit roten Stellen, Wasser verdunstet
II.	5°	Beobachtung am Tage nach der Aufstellung	freihängend: hellblau	hellblau
			Exsiccator: hellviolett	hellviolett
	40°		freihängend: violett	violett
			feuchter Raum: hellblau	hellblau

Auch an den Papieren, welche mit Blütenextrakten durchtränkt worden waren, war der Einfluß des geringeren oder höheren Wassergehaltes der Luft auf die Färbung zu erkennen.

Versuche wurden unternommen mit Blütenauszügen von *Matthiola incana, Rosa centifolia, Viola odorata* und *Dahlia* sp.

		Wasserextrakte	Alkoholextrakte von *Matthiola*
		Ursprüngliche Färbung der Papiere: violett	violett
5°		freihängend: tief violett	tief violett
		Exsiccator: licht rötlich, am Rande stärker rot	licht rötlich, vom Rand aus stärker rot
40°		freihängend: rot	rot
		feuchter Raum: bläulich rot	bläulich rot

	Wasserextrakte	Alkoholextrakte von *Rosa*
5°	freihängend: brauviolett, schwache Färbung	blauviolett, intensiv gefärbt
5°	Exsiccator: rotviolett, stark entfärbt, noch mekr als die freihängenden Papiere	rotviolett, stark entfärbt
40°	freihängend: rot mit sehr wenig Blau	rot violett, schwache Intensität der Färbung
40°	feuchter Raum: zum Teil entfärbt, zum Teil blauer als die freihängenden Papiere	an manchen Stellen Intensität wie bei den frei hängenden Papieren, blauviolett, zum Teil entfärbt

		Wasserextrakt	Alkoholextrakt von *Viola*
5°	Beobachtung am 5. Tage nach der Aufstellung	freihängend. blau	blau
5°	Beobachtung am 5. Tage nach der Aufstellung	Exsiccator: violett	sehr hell, entfärbt
40°	Beobachtung am 5. Tage nach der Aufstellung	freihängend: violett, schwache Intensität	violett, schwache Intensität
40°	Beobachtung am 5. Tage nach der Aufstellung	feuchter Raum: blau, beiläufig wie bei 5° freihängend	blau, beiläufig wie bei 5° freihängend
5°	Beobachtung am 12. Tage nach der Aufstellung	freihängend: hellblau	violett (bei 10° blau)
5°	Beobachtung am 12. Tage nach der Aufstellung	Exsiccator: intensiv violett	zum Teil entfärbt, zum Teil violett, schwache Intensität
40°	Beobachtung am 12. Tage nach der Aufstellung	feuchter Raum: gelblich, sehr schwach tingiert	gelblich, stark entfärbt

Während die Veilchenpapiere am fünften Tage nach der Aufstellung deutlich einen Unterschied in der Färbung zwischen trocken und feucht gehaltenen Filtrierpapierstreifen erkennen ließen, waren nach längerer Versuchsdauer die Resultate nicht mehr so klar. Bei manchen Papieren, welche mit anderen Blütenextrakten imbibiert wurden, konnte aber noch lange nach der Aufstellung des Versuches eine auffallende Differenz zwischen freihängenden und im Exsiccator aufbewahrten Papieren festgestellt werden So war zum Beispiel nach einem halben Jahre bei Georginenpapieren noch Folgendes zu konstatieren:

Aufgestellt am 19./IX. 1913,
letzte Beobachtung am 27./III. 1914

	Wasserextrakte	Alkoholextrakte von *Dahlia* sp.
5°	freihängend: blau	blau
5°	Exsiccator: violett	violett

Die Resultate der Versuche über Veränderung der Färbung von Filtrierpapierstreifen, welche mit Anthokyanlösungen durchtränkt waren und der Versuche über die Farbenwandlung von gekochten Blüten-

blättern zeigten deutlich, daß die Aufnahme oder Abgabe von Wasser eine wichtige Rolle beim Zustandekommen der Farbentöne und der verschiedenen Farbenintensitäten spielt.

Es soll nun nochmals in Kürze auf die wichtigsten diesbezüglichen Ergebnisse hingewiesen werden.

Blüten und Blütenblätter von *Centaurea, Rosa, Paeonia* und *Viola* entfärbten sich beim Kochen in Wasser oder 75% Alkohol gänzlich oder beinahe vollständig und nahmen beim Eintrocknen wieder Färbungen an, die je nach dem Extraktionsmittel verschieden ausfielen.

Auf einer Asbestplatte erwärmte, mit Extrakten aus den gefärbten Organen unserer Versuchspflanzen imbibierten Filtrierpapierstreifen veränderten ihre Farbe.

Über Wasserdämpfen blaßte bei manchen dieser Papiere die durch Erhitzen hervorgerufene Farbe ab (*Paeonia*), bei anderen Papieren ging die beim Erwärmen angenommene Farbe verloren und es trat die ursprüngliche Färbung auf (Rotkraut); neuerlich erwärmt kam im ersteren Falle die frühere Intensität der Farbe, im letzteren Falle der früher beim Erhitzen erzielte Farbenton wieder zum Vorschein. Die Intensität der Farbe nahm auch bei einigen Papieren, welche nach dem Erwärmen im Zimmer liegen blieben, ab (*Paeonia, Rosa, Viola*). Das Auftreten der beim Erhitzen zustande gekommenen Farbenwandlung konnte mitunter auch beim Eintrocknen feuchter Papiere bei Zimmertemperatur beobachtet werden.

Während sich die mit Wasserextrakten von Veilchen imbibierten blauen Filtrierpapierstreifen beim Erhitzen violett und später bläulich färbten, tingierten sich die farblosen mit Alkoholextrakten von Veilchen behandelten Papiere nach Vertreiben des Alkohols erst blau und verhielten sich dann wie die Wasserextraktpapiere. Auf einer Asbestplatte erwärmte blaue Wasserextraktpapiere von Rotkraut wurden violett und rot, die Färbung von roten oder rosa, gleich behandelten Alkoholextraktpapieren ging erst in Blau, dann wieder in Rot über. Auch aus den Versuchen mit Papierstreifen, die mit Extrakten aus gefärbten Pflanzenorganen durchtränkt waren und in den Thermostaten aufbewahrt wurden, geht der große Einfluß des Wassers auf Ton und Intensität der Anthokyanfarbe hervor.

Wenn auch zwischen den Papieren der einzelnen Kammern mit konstanter Temperatur, welche nur Temperaturdifferenzen von 5 oder 10° und nur geringe oder gar keine Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalte aufweisen, nicht immer ein Unterschied in der Färbung mit der genügenden Schärfe zu konstatieren war, so war derselbe doch bei größeren Temperatur- und Feuchtigkeitsdifferenzen sehr deutlich zu sehen. Ganz besonders auffallende Verschiedenheiten in der Färbung waren an den Filtrierpapieren der 5°-Kammer (80% Feuchtigkeitsgehalt) und der 40°-Kammer (40% Feuchtigkeitsgehalt) zu beobachten. Daß diese Abweichungen in der Färbung hier nicht nur auf den großen Temperaturunterschied, sondern auch auf die Differenz im Feuchtigkeitsgehalte der Luft zurückzuführen sind, lehrten gleichzeitig im Exsiccator bei 5° und im feuchten Raum bei 40° aufgestellte Versuche (Rotkraut, *Matthiola, Rosa, Viola, Dahlia*). Die Papier waren im Exsiccator röter als die bei 5° freihängenden und im feuchten Raume blauer als die bei 40° frei exponierten.

In vielen Fällen wirkten also einerseits höhere Temperaturen und Wasserentzug, andererseits niedrigere Temperaturen und Wasseraufnahme in gleicher Weise, indem im ersteren Falle das Auftreten von Rot, im letzteren Falle das Auftreten von Blau begünstigt wurde.

»Der Alkohol bewirkt also ganz ähnliche Farbenänderungen wie die Wärme« sagt Fitting[1] bei Besprechung seiner Untersuchungen mit Alkoholextrakten von *Erodium gruinum* und *E. ciconium*; meine Beobachtungen sprechen dafür, daß dies auf der wasserentziehenden Wirkung des Alkohols beruht. Schon früher wurde darauf hingewiesen, daß abgekühlte wässerige Extrakte aus *Matthiola-, Iris-, Centaurea-, Paeonia-*, Rosen-Blüten und Rotkrautblättern mehr Blau enthalten als abgekühlte alkoholische Auszüge aus diesen Organen, während beim Erwärmen, resp. Kochen der Wasserextrakte der blaue Ton mehr oder weniger verschwindet.

Über den Einfluß von Temperaturerhöhung und -erniedrigung und von Wasseraufnahme und -abgabe auf die Veränderung der Färbungsintensität bei Extrakten und mit diesen imprägnierten Papieren und über

[1] Fitting, l. c., p. 89.

die Ursache dieser Erscheinung konnte ich mir vorläufig keine Klarheit verschaffen, dies soll weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Temperaturunterschiede, Lichteinwirkung, Verdünnung der konzentrierten wässerigen Lösungen und Verschiebungen des Wassergehaltes der Luft konnten einzeln oder kombiniert Farbenänderungen der Extrakte und imprägnierten Papiere hervorrufen.

Es drängt sich nun die Frage auf, ob diese Faktoren auch für die Farbenwandlungen, die an lebenden Pflanzenorganen beobachtet wurden, verantwortlich gemacht werden können. Wie aus der in der Einleitung gegebenen Literaturzusammenstellung und aus meinen Versuchen hervorgeht, wirkte Temperaturerhöhung und -erniedrigung auf die gefärbten Organe verschiedener Pflanzen in verechiedener Weise ein.

Es wurden Fälle beschrieben, bei denen es den Anschein hat, als ob eine Erhöhung der Temperatur die Ursache der Farbenänderung wäre. Entfärbung (Blätter im Winter immergrüner Gewächse, Blüten und Petalen von *Myosotis alpestris, Myosotis* sp., *Primula sinensis, Viola alpestris, V. arvensis, Campanula trachelium, Centaurea cyanus, Syringa persica, Erodium gruinum, E. ciconium,* Wurzeln von *Salix rubra*) Schwächung der Färbungsintensität (*Rosa canina, Bellis perennis,* Rotkohl) und Rotfärbung, respektive Auftreten eines roten Tones im Blau (*Hibiscus mutabilis, Erodium gruinum, E. ciconium, Iris germanica*) wurde bei Temperatursteigerung beobachtet, es sind dies Veränderungen wie sie ähnlich an den Extrakten zu konstatieren waren.

Der Einwirkung von Temperaturerniedrigung werden auch Änderungen der Farbe zugeschrieben, wie ich sie unter solchen Bedingungen in manchen Fällen an wässerigen und alkoholischen Auszügen sah; so entfärben sich die Blüten von *Hibiscus mutabilis* und *Viola alpestris*; intensiver ist der Farbenton bei *Bellis perennis* und *Rosa canina*; an den Blättern immergrüner Gewächse, an den Wurzeln von *Salix rubra,* an den Keimlingen von *Brassica oleracea* (*capitata*) und an den Blüten von *Myosotis dissitiflora, Myosotis* sp., *Primula sinensis, Ipomoea Learii, I. rubrocoerulea* und *Viola odorata* tritt Rotfärbung auf, oder es kommt zu der ursprünglichen Färbung noch Rot hinzu; blau oder bläulich ist die Farbe der Blüten von *Myosotis alpestris, Erodium gruinum, E. ciconium, Viola arvensis, Campanula trachelium, Syringa persica, Iris germanica* und *Centaurea cyanus* und bei nicht zu niedrigen Temperaturen auch die der Blüten von *Myosotis* sp., *Viola alpestris* und die der Rotkrautkeimlinge.

Optimalen Beleuchtungsintensitäten, welche je nach der Pflanzenart verschieden sind, ausgesetzte Pflanzen haben meistens im Gegensatz zu den im Schatten oder Dunkeln gewachsenen Exemplaren eine schöne intensive Färbung, es sei hier nochmals auf die Beobachtungen von Sachs,[1] Askenasy,[2] Kerner[3] und Karzel[4] hingewiesen. Schatten- oder Dunkelpflanzen sind farblos oder schwächer tingiert als die Lichtpflanzen, die Intensität dieser Färbung ist davon abhängig, wie lang die verdunkelten Pflanzenorgane vorher belichtet wurden. Blüten von *Tropaeolum majus* können im Dunkeln den Farbenton verändern. Es gibt aber auch eine Anzahl von Pflanzen, welche im Licht und Dunkeln gleichgefärbte Blüten entwickeln.

Vom Licht ins Dunkle gebrachte Anthokyanextrakte zeigten wohl auch Farbenwandlungen, die sich aber von denen der lebenden Pflanzen unterschieden. Einige Auszüge veränderten freilich bei Belichtung und Verdunkelung die Farbe nicht, andere aber nahmen im Dunkeln einen röteren Ton an, der zum Verschwinden gebracht werden konnte, indem man die Extrakte wieder ins Licht übertrug.

Eine kombinierte Wirkung von Licht und Temperatur auf die Färbung von Pflanzen haben Mohl und Overton[5] angenommen. Bei manchen Extrakten, zum Beispiel bei den wässerigen Rotkrautauszügen

---

[1] Sachs, 1892, p. 179, 216, 218, 219, 229.

[2] Askenasy, 1876, l. c.

[3] Kerner, l. c., p. 364.

[4] Karzel, l. c., p. 348, 377.

[5] Mohl, l. c., Overton, l. c.

erhielt man durch Zusammenwirken von hohen Temperaturen mit Lichtentziehung die stärksten Rotfärbungen, durch Kombination von niedrigeren Temperaturen mit Belichtung die intensivsten Blaufärbungen.

Durch Strahlen verschiedener Wellenlänge kann die Färbung mancher Blüten beeinflußt werden (Klebs).[1] Wässerige und alkoholische Extrakte aus Rotkrautblättern und aus Blüten von *Iris germanica* und wässerige Lösungen des *Paeonia*-Blütenfarbstoffes nehmen unter Senebier'schen Glocken, welche mit einer Kupferoxydammoniaklösung gefüllt sind, eine blauere Farbe an als unter Glocken mit Kaliumbichromatlösung.

Über den Einfluß der Luftfeuchtigkeit und der stärkeren oder geringeren Wasseraufnahme durch die Pflanze auf die Farbenwandlung gefärbter Organe finden sich in der Literatur einige Angaben.

Nach Literaturangaben von Buscalioni und Pollaci[2] und nach Combes[3] soll die Luftfeuchtigkeit bei der Bildung des Anthokyans beteiligt sein und Stahl[4] findet, daß ein feucht schattiger Standort die Entstehung bunter Blätter fördert.

Stahl führt Fälle an, bei denen ein und dieselbe Pflanze an verschiedenen Stellen Unterschiede in der Ausbildung des Anthokyans zeigte, je nachdem sich ihre einzelnen Teile in feuchterer oder trockenerer Umgebung befanden. So waren zum Beispiel Kannen von *Nepenthes melamphora*, welche auf dem feuchten Boden lagen, intensiv rot, die Kannen aber, die durch Emporklettern der Zweige in eine höhere Lage gebracht wurden, waren nur schwach rot gefärbt. Eine sehr starke Rotfärbung war auch nach einer Mitteilung des Grafen Solms an den Kannen der im botanischen Garten von Straßburg in feuchter Umgebung kultivierten *Nepenthes* zu beobachten, während die Kannen an einer helleren und trockeneren Stelle des Glashauses nur eine ganz schwache Färbung zeigten.[5]

Molisch[6] begoß Pflanzen von *Panicum variegatum*, *Pereskia aculeata*, *Tradescantia zebrina* und *Fuchsia* zum Teil in normaler Weise, zum Teil versorgte er sie nur mit wenig Wasser, so daß sie schwache Welkungserscheinungen zeigten. Die welken Pflanzen waren viel röter gefärbt als die normalen, besonders deutlich trat der Unterschied bei *Pereskia aculeata* und *Panicum variegatum* auf. Freilich bleibt es hier, wie Molisch betont, unentschieden, ob die intensivere Bildung des Pigmentes auf die geringere Wasserzufuhr, oder auf Störungen, welche durch den Wassermangel hervorgerufen wurden, beruht.

Eberhardt[7] fand, daß die Blätter von *Coleus Blumei* und *Achyranthes angustifolia* in einer trockenen Atmosphäre bedeutend mehr Anthokyan bilden als in normaler oder feuchter Luft. In der letzteren ist die Farbstoffbildung eine viel geringere als in normaler Luft.

Die rote Farbe der *Sempervivum*-Blätter kommt nach Klebs[8] bei Kultur in feuchter Luft nur schwach oder gar nicht zur Entwicklung. Hellgrüne Blätter von *Sempervivum Funkii* färben sich an einem hellen und trockenen Standorte rot.

Auch eine von Willstätter und Everest[9] beobachtete Erscheinung soll hier noch erwähnt werden, obzwar dieselbe vielleicht nicht auf dem Wasserverluste, den die Blüten erleiden, beruht. Die Blüten der Cichorie und der Kornblume verblassen beim Trocknen. Bei der Kornblume verschwindet die blaue Farbe aber hauptsächlich in den älteren Randblüten; jüngere Randblüten und beinahe alle Scheibenblüten behalten die Farbe.

---

[1] Klebs, 1906.

[2] Buscalioni und Pollaci, p. 86. Die Verfasser sind selbst der Ansicht, daß die Anthokyanbildung nach den bisherigen Erfahrungen nur indirekt mit der Feuchtigkeit in Beziehung steht.

[3] Combes, 1909, p. 278.

[4] Stahl, 1896, p. 173, 175.

[5] Stahl, 1896, p. 175.

[6] Molisch, 1890, p. 29, 30.

[7] Eberhardt, 1903, p. 114, 134, 149, 151.

[8] Klebs, 1906, p. 194, 268.

[9] Willstätter und Everest, 1913, p. 216.

Küster[1] bringt das Verschwinden der Saftmahle von *Viola arvensis* im Victoria-Warmhause des botanischen Gartens in München mit den veränderten Transpirationsverhältnissen in Zusammenhang und das gleichfalls von Goebel[2] beobachtete Verschwinden der blauen Farbe von *Viola alpestris* bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist vielleicht auch zum Teil auf den höheren Wassergehalt der Luft im Versuchsraume zurückzuführen.

Schließlich sei noch mitgeteilt, daß ich anläßlich von Vorversuchen reversible Farbenänderungen an Schnitten von gefärbten Pflanzenteilen durch Einbringen derselben in Kochsalzlösungen verschiedener Konzentration konstatieren konnte.[3]

Durch Eindampfen oder Verdünnung lassen sich Farbenänderungen der Wasserextrakte hervorrufen und auch die mit alkoholischen oder wässerigen Auszügen durchtränkten Filtrierpapiere verändern die Farbe durch Eintrocknen, Erhitzen oder Aufbewahren in einem feuchten Raume.

Alle erwähnten Faktoren können also einzeln oder in Kombination beim Zustandekommen der Farbenänderungen lebender Pflanzenorgane eine Rolle spielen. Diese Farbenwandlungen können reversibel sein oder aber, sie sind, was meistens der Fall zu sein scheint, einmal eingetreten, an demselben Organe nicht mehr rückgängig zu machen. Es ist möglich, daß in diesem letzteren Falle die angenommene Farbe fixiert wird, es kann aber auch sein, daß durch irgendwelche komplizierte Vorgänge in der Zelle eine Veränderung der Farbe, wenn die Pflanze neuen äußeren Einflüssen ausgesetzt wird, verhindert wird.[4] Übrigens waren auch bei den Anthokyanextrakten die Farbenumschläge nicht immer reversibel. So fiel es zum Beispiel auf, daß die rotvioletten Wasserextrakte von Veilchen, welche abgekühlt blauviolett wurden und beim neuerlichen Kochen in der Eprouvette eine blaue Farbe, der das Rot fehlte, annahmen, nun beim Abkühlen die Farbe nicht mehr in Blauviolett veränderten. Abermaliges Kochen dieses blauen Veilchenauszuges hatte einen Farbenumschlag in Grün zur Folge, ließ man den Extrakt erkalten, so kam die blaue Farbe wieder zum Vorschein. Aus diesen Reaktionen kann auf tiefgehende chemische Veränderungen in den Extrakten geschlossen werden.

Über das Zustandekommen der Farbenänderungen tingierter Pflanzenteile sind verschiedene Ansichten ausgesprochen worden,[5] trotzdem sind wir uns über die Ursache dieser so häufigen Erscheinung noch nicht völlig im Klaren und es ist uns unbekannt, ob die äußeren Faktoren hier mittelbar oder unmittelbar zu den Veränderungen führen; ja selbst über die Ursache der Farbenwandlung in den Extrakten und über die Frage, ob der Farbstoff selbst diese Wandlungen erfährt, oder ob er indirekt, erst durch Veränderung der mit ihm aus den Pflanzen extrahierten Stoffe beeinflußt wird, kann man vorläufig nichts mit Bestimmtheit aussagen.

Wenn trotz der komplizierten Verhältnisse und der mannigfaltigen, kaum zu übersehenden Bedingungen, welche beim Zustandekommen der Farbenänderungen von Extrakten eine Rolle spielen können, versucht werden soll, einige der Ursachen, die diese Reaktion veranlassen könnten, festzustellen, so geschieht dies bloß, um zu weiteren Untersuchungen auf diesem Gebiete anzuregen und durch Bestätigung, Richtigstellung oder Widerlegung der ausgesprochenen Vermutungen die Erforschung des Anthokyans zu fördern.

Welche Faktoren können nun hier in Betracht kommen?

Konzentration der Lösungen: Es wurde öfters auf den Unterschied der Färbung von Lösungen verschiedener Konzentration hingewiesen. Die Konzentration hat sicher eine große Bedeutung bei den

---

[1] Küster, 1908, p. 514.

[2] Goebel, 1908, p. 128 bis 130.

[3] Diese Versuche werden in unserer Anstalt weitergeführt.

[4] Bei Besprechung der Entfärbung wässerige Lösungen eines Cyaninalkalisalzes bemerken Willstätter und Everest (1913, p. 219), daß die Isomerisation durch die spezifische Wirkung eines anorganischen Salzes verhindert wird. »Wahrscheinlich wird in der Blüte das Farbsalz in analoger Weise durch Bestandteile des Zellsaftes geschützt.«

[5] Siehe die Literaturzusammenstellung auf p. 30 u. 31 [— u. —].

beobachteten Farbenerscheinungen, vermutlich durch Veränderung der Dissoziationsvorgänge und der Löslichkeitsverhältnisse.

Das Auftreten von Farbenänderungen, bei Verdünnung der Anthokyanlösungen mit destilliertem Wasser, wie sie bei Versuchen mit Levkojen, Veilchen und Rotkraut konstatiert werden konnten und wie sie Fitting[1] bei seinen Versuchen mit *Erodium*-Blüten erwähnt, spricht dafür, daß bei diesen Farbenwandlungen Dissoziationsvorgänge beteiligt sein dürften.

Lösungsmittel: Die Farbe der wässerigen Lösungen weicht von der der alkoholischen Extrakte ab. In vielen Fällen waren die Wasserextrakte blauer als die Alkoholextrakte. Beim Kochen der letzteren wurde ein Farbenton erreicht, bei dem das Blau wieder stärker hervortrat. Der bei Verwendung von destilliertem Wasser und 70%igem Alkohol auftretende Farbenunterschied kann auf Hydratations- und Solvatationsvorgänge zurückgeführt werden, es können aber auch andere Vorgänge wie Änderungen der Konzentration oder Löslichkeitsverhältnisse hierbei eine Rolle spielen.

Feuchtigkeit: Auf Hydratationsvorgänge sind wohl die Farbenveränderungen an Filtrierpapierstreifen, welche mit den Farbstoffextrakten durchtränkt wurden, zurückzuführen. Beim Erhitzen oder Eintrocknen nehmen diese Papiere eine rötere, beim Erkalten oder feucht gehalten, eine blauere Farbe an. Mit solchen Vorgängen hängen vielleicht auch die von Molisch[2] und Fitting[3] beim Eindampfen der Anthokyanextrakte und beim Auflösen des Rückstandes im Wasser beobachteten Farbenumschläge zusammen.

Licht: Bei den reversiblen Farbenänderungen der Anthokyanextrakte im Licht und im Dunkeln handelt es sich vielleicht um Zustandsänderungen, die mit den Erscheinungen der Phototropie, wie sie von Marckwald[4] und Stobbe[5] für verschiedene feste Substanzen beschrieben wurden, eine gewisse Ähnlichkeit besitzen. Aus den auf p. 12 u. 13 [510 u. 511] beschriebenen Versuchen geht hervor, daß es wohl die stark brechbaren Strahlen sind, welche die Farbenänderung mancher Anthokyanauszüge in Blau im Licht herbeiführen.

Temperatur: Der Einfluß der Temperatur auf die Farbe der Auszüge aus tingierten Pflanzenteilen kann sich in der verschiedensten Weise äußern. Molekulare Umlagerungen, Verschiebungen in den Hydratations- und Solvatationszuständen, ferner Komplexsalzbildungen und Hydrolysen kommen hier in Betracht.[6]

Ein Extrakt aus gefärbten Pflanzenteilen stellt ein so kompliziertes Gemisch dar, daß auf die Aufzählung aller Möglichkeiten, die zu Farbänderungen führen können und auf die Erklärung des Zustandekommens derselben, vorläufig verzichtet werden muß.

Wenden wir uns nun der Frage zu, welche Stoffe bei der Entstehung der Farbenumschläge beteiligt sein können. Hier stehen sich zwei Ansichten gegenüber. Nach der einen wird angenommen, daß der Farbstoff der Extrakte direkt die Veränderungen erfährt, während nach der zweiten Ansicht der Farbstoff durch die Stoffe, die ihn umgeben und die sich verändern, beeinflußt wird. Die erstere Ansicht wird von Fitting[7] durch das Ergebnis seines Versuches mit dem möglichst isolierten und gereinigten Farbstoffe von blauen und violetten Stiefmütterchenblüten gestützt. Die wässerigen Lösungen dieses Farbstoffes veränderten ihre Farbe beim Erwärmen oder Abkühlen. Für die zweite Ansicht, welche Molisch[8] in seiner des öfteren zitierten Arbeit zum Ausdruck bringt, könnten auch die von mir an imprägnierten Papieren beobachteten Farbenumschläge herangezogen werden, wenn es sich herausstellen sollte, daß es sich hier

---

[1] Fitting, l. c., p. 89, 91.

[2] Molisch, 1889, p. 21, 22.

[3] Fitting, l. c., p. 89, 91.

[4] Markwald, 1899, p. 140.

[5] Stobbe, 1908, p. 391, Stobbe 1911, siehe auch Neuberg, 1913, p. 43 ff.

[6] Ley, 1911, p. 16.

[7] Fitting, l. c., p. 96 ff., 99, 105.

[8] Molisch, 1889, p. 19, Fußnote.

um Vorgänge handelt, wie sie Laqueur und Sackur[1] für Kasein beschrieben haben. Wird ein Tropfen einer neutralen Kaseinnatriumlösung auf Lackmuspapier gebracht, so färbt sich dieses blau. Verdunstet nun das Wasser, so tritt Rotfärbung auf. Diese Erscheinung wird auf die Zurückdrängung der Hydrolyse beim Eintrocknen zurückgeführt. Man könnte sich nun auch einen ähnlichen Vorgang bei den mit Extrakten durchtränkten Papieren vorstellen, wobei das Anthokyan als Indikator fungieren würde. Es wäre aber auch möglich, daß hier eine Alkaliverbindung des Anthokyans auf Änderungen des hydrolytischen Zustandes durch Wasserzufuhr und -entziehung mit einem Farbenwechsel reagiert.

Einige Beobachtungen lassen es nicht unwahrscheinlich erscheinen, daß manche der beschriebenen Farbenänderungen der Extrakte mit dem Vorhandensein einer solchen Alkaliverbindung des Anthokyans zusammenhängen könnten. So hat Fitting[2] gefunden, daß der Wasserextrakt von *Pelargonium zonale*, der beim Erkitzen keinen oder fast keinen Farbenumschlag zeigt, seine Farbe reversibel verändert, wenn er mit Ammoniak violett gefärbt wurde. Bei meinen Versuchen färbte sich das Wasser, in dem Rotkraut oder Veilchenblüten gekocht wurden, erst blau oder bläulich, bevor die rote Farbe zum Vorschein kam. Die von Molisch[3] festgestellte Farbenwandlung an Blättern von *Coleus Verschaffelti* und *Perilla nankinensis* trat an anthokyanhältigen Blättern, welche einen großen Säuregehalt besaßen, nicht auf. An anderer Stelle spricht Molisch[4] die Ansicht aus, daß sich die abgetöteten *Coleus*- und *Perilla*-Blätter entfärben, »weil im Augenblicke des Absterbens der rote Farbstoff mit gewissen uns derzeit noch unbekannten alkalischen Körpern des Protoplasmas zusammentrifft und hiedurch in einen mehr minder farblosen Stoff übergeführt wird.« Übrigens hat auch Filhol[5] angenommen, daß die Verfärbung der alkoholischen Lösungen des Anthokyans und der durch Kochen in Wasser erzielten Extrakte auf eine Verbindung des Anthokyans mit Stoffen des Zellsaftes zurückzuführen ist.

Die über das Zustandekommen der Farbenänderungen von Anthokyanextrakten ausgesprochenen Anschauungen können mit den Ansichten von Czapek, Willstätter und Tswett in Einklang gebracht werden.

Czapek[6] hält es für wahrscheinlich, daß die blaue Färbung des Anthokyans nach Zusatz von starken Alkalien den einwertigen, die grüne Farbe den zweiwertigen Ionen der Säure zukommt und daß die wenig dissoziierte freie Säure rot erscheint.

Nach Willstätter und Everest[7] kommt die blaue Farbe des Kornblumenfarbstoffes dem Alkalisalze zu, bei der violetten Modifikation handelt es sich um die freie Säure (Cyanin) und rot gefärbt ist die Verbindung des Cyanins mit einer Säure. Diese drei Modifikationen können durch Isomerisation in einen farblosen Zustand übergeführt werden. Auch Tswett[8] meint, daß die Farbenwandlung, welche das Anthokyan bei Behandlung mit Alkohol erfährt, auf Isomerisation beruhen könnte oder es wäre auch möglich, daß es sich hier um eine Verbindung des Anthokyans mit Alkohol handelt.

Eine Entscheidung darüber, ob man es bei diesen Vorgängen tatsächlich mit Veränderungen einer Anthokyanverbindung zu tun hat, oder ob die Farbenumschläge durch Veränderungen des Farbstoffes selbst oder durch die mitextrahierten Substanzen indirekt hervorgerufen werden, wird erst möglich sein, wenn zu den Untersuchungen reines Anthokyan herangezogen wird.

Dann wird auch der Frage nähergetreten werden können, ob die beobachtete verschiedene Widerstandsfähigkeit gegen höhere Temperaturen und die Abweichungen der Farbennuancen beim Erwärmen oder Abkühlen der einzelnen Extrakte aus gefärbten Pflanzenteilen für Anthokyane, welche einer Gruppe

---

[1] Laqueur u. Sackur, p. 201.

[2] Fitting, l. c., p. 94.

[3] Molisch, 1889, p. 21.

[4] Molisch, 1890, p. 32.

[5] Zitiert nach Tswett, 1914, p. 62.

[6] Czapek, I, 1905, p. 472, 473; 1913, I, p. 587.

[7] Willstätter und Everest, l. c., p. 193, 194.

[8] Tswett, 1914, p. 65.

angehören, oder für einzelne Anthokyanindividuen spezifisch sind. Es wäre aber auch hier möglich, daß den aus der Pflanze in den Extrakt übergegangenen Stoffen eine Rolle zukommt.

Besondere Aufmerksamkeit wird man dem Verhalten des Anthokyan-Farbstoffes in verschiedenen Lösungsmitteln zuwenden müssen. Auf p. 28 [—] wurde bereits auf einige Faktoren hingewiesen, welche beim Zustandekommen der Farbenunterschiede eines Anthokyanextraktes in verschiedenen Medien beteiligt sein könnten und anläßlich einer mit M. v. Eisler gemeinsam durchgeführten Arbeit[1] über Bakterienfarbstoffe konnte ich die Vermutung aussprechen, daß manche Umschläge der Farbe, welche Extrakte der Pigmente von *Bacillus prodigiosus* und *B. violaceus* zeigen, auf Veränderungen der Löslichkeitsverhältnisse zurückzuführen sind.

Das Anthokyan löst sich nur in »Lösungsmitteln mit freien Hydroxylen, wie Wasser, Methyl- und Äthylalkohol, Glyzerin etc., nicht aber Äther, Benzol, Schwefelkohlenstoff« auf. Versuche Grafe's[2] zeigten, daß hier nicht so sehr die chemische Konstitution des Lösungsmittels als elektrolytische Dissoziation eine Rolle spielt.

Von besonderem Interesse für unsere Frage sind die vor kurzem erschienenen Untersuchungen von Halle, Loewenstein und Přibram[3] über Farbenveränderungen des Triketohydrindenhydrats (Ninhydrin). Ninhydrin gibt mit verschiedenen Substanzen gekocht Farbenreaktionen, die an Intensität bedeutend zunehmen, wenn die Lösung nach dem Kochen alkalisch gemacht wird. Von der Konzentration der freien Hydroxylionen hängt es ab, ob die Färbung rot, violett oder blau erscheint.

Die leichte Veränderlichkeit des extrahierten Anthokyans und seine große Empfindlichkeit verschiedenen Einflüssen gegenüber haben zur Folge, daß die Farbennuancen, welche verschiedene Forscher bei ihren Untersuchungen mit Anthokyan erzielten, nur dann übereinstimmen können, wenn alle Versuchsbedingungen die gleichen waren. Wenn Molisch's[4] wässerige Rotkrautextrakte bei Zimmertemperatur blau waren, während die nach Eindampfen des alkoholischen Extraktes mit Wasser aufgenommenen Anthokyanlösungen Fitting's[5] aus Rotkrautblättern bei Zimmertemperatur eine weinrote Farbe hatten, so kann dieser Farbenunterschied auf verschiedenen Ursachen beruhen.

Berücksichtigt man allein die in dieser Abhandlung in Betracht gezogenen Faktoren, so stellt es sich heraus, daß die Verschiedenheit der Herstellung, die ungleiche Konzentration der Extrakte und Unterschiede in der Temperatur und in den Belichtungsverhältnissen des Versuchsraumes an der Differenz in der Färbung dieser Rotkrautauszüge Schuld sein können.

Bei Besprechung meiner Versuchsresultate wurde nur der Einfluß von Temperatur, Licht und Feuchtigkeit auf die Farbenänderung lebender Pflanzen und die Wirkung dieser Faktoren, des Lösungsmittels und der Konzentration der Lösungen auf die Farbenwandlung des aus tingierten Pflanzenorganen extrahierten Farbstoffes berücksichtigt. Auf die Frage, ob äußere Faktoren bei den Farbenumschlägen, welche an lebenden Pflanzenteilen zu beobachten sind, direkt oder indirekt eine Rolle spielen, konnte nicht eingegangen werden. Wie sich die Veränderung der Farbe des Anthokyans in lebenden Pflanzen oder in Extrakten anderen Faktoren gegenüber verhält, wurde gar nicht oder nur vorübergehend erwähnt. Nach vorliegenden Untersuchungen können aber auch durch Oxydationsvorgänge, Reduktionsvorgänge, Enzymwirkungen und Änderungen der Reaktion des Zellsaftes etc. Farbenwandlungen in lebenden Pflanzen und in Anthokyanauszügen zustande kommen.[6]

---

[1] Eisler u. Portheim, 1913, p. 3, 4.

[2] Grafe. 1909, p. 1034.

[3] Halle, Loewenstein u. Přibram, 1913.

[4] Molisch, 1889, p, 19, Fußnote.

[5] Fitting, 1912, p. 95.

[6] Combes, 1909, p. 275, 1910, I, II, III; 1913, p. 577, 578. — Euler, 1908, I. — Katić, 1905, p. 65. — Keeble, Armstrong u. Jones, 1913, p. 311 bis 313, 315 bis 317. — Jones, 1913, p. 321. Molisch, 1889, p. 20; 1890, p. 24, 32; 1897, p. 55; 1913, p. 23, 236. — Palladin, 1908, p. 392. — Rupe u. Altenburg, 1911, p. 182. — Russo, 1908. — Stahl, 1896, p. 149. —

So nimmt Molisch[1] an, daß die rote Farbe, welche Blüten von *Myosotis dissitiflora* bei 5 bis 7° C annehmen, während sie bei höheren Temperaturen blauviolett oder blau sind, auf einer Steigerung der Acidität der Pflanzen bei niedrigeren Temperaturen beruht. Es wäre also in diesem Falle der Temperatur nur ein indirekter Einfiuß beim Zustandekommen der Blütenfärbung zuzuschreiben.

Wenn auch noch nicht feststeht, ob Temperatur, Licht und Feuchtigkeit durch unmittelbare oder mittelbare Einwirkung den Farbenwechsel anthokyanhaltiger lebender Pflanzen herbeizuführen vermögen, sicher ist, daß diese Faktoren in Extrakten aus gefärbten Pflanzenteilen und an Filtrierpapieren, welche mit diesen Auszügen durchtränkt sind, zu Veränderungen der Farbe führen können.

Tobler, 1907, p. 652. — Tswett, 1914, p. 65. — Wheldale, I, 1909, p. 137, II, 1909, 1910, p. 457, 1911, p. 133. — Wiesner, 1906, p. 65. — Willstätter u. Everest, 1913, p. 194, 195, 202.

[1] Molisch, 1905, p. 161.

Zusammenfassung.

1. Die Farbenveränderungen (Veränderung der Farbennuance und Intensität, Verschwinden des Farbstoffes), welche man an lebenden Pflanzenteilen beobachtete, wurden in manchen Fällen auf den Einfluß von Temperatur, Licht und Feuchtigkeit zurückgeführt. Die Farbenwandlungen traten an den den neuen Bedingungen ausgesetzten Pflanzenteilen auf, oder sie kamen erst an den sich nun neu bildenden Organen zum Vorschein.

Ich versuchte es festzustellen, was für eine Wirkung verschiedene konstante Temperaturen auf die Farbe der Keimlinge des Rotkrautes und die der Blüten von *Syringa persica, Rosa canina, Iris germanica Centaurea cyanus, Myosotis* sp. und *Viola odorata* haben. Ganze Pflanzen, abgeschnittene Infloreszenzen und Blüten kamen in Kammern mit Temperaturen von 5, 10, 15, 20, 25 und 30° C.

Die intensivste Färbung wurde bei niedrigen Temperaturen erzielt (5, 10, 15°). Das meiste Blau enthielten Blüten von *Syringa, Iris* und *Centaurea* bei 5 bis 10°, Blüten von *Myosotis* und Keimlinge von Rotkraut bei 10 bis 15°. Rotkrautkeimlinge waren aber bei 5° röter als bei 15° und die Blüten von *Myosotis* und Veilchen scheinen, bei den niedrigsten in Anwendung gebrachten Temperaturen, die Tendenz zu besitzen, einen röteren Ton auszubilden. Blüten von *Rosa* waren umso dunkler gefärbt, je niedriger die Temperatur, welche hier nur einen Einfluß auf die Intensität der Färbung hatte, war. Die Intensität ging auch bei allen anderen Versuchspflanzen von 15° an zurück, es trat bei höheren Temperaturen entweder Entfärbung der tingierten Organe ein (*Syringa, Centaurea, Myosotis*), oder es kam ein röterer Ton zum Vorschein (*Iris, Myosotis*, Rotkraut).

Leider fielen nicht alle diese Versuche mit der erwünschten Deutlichkeit aus und es werden hier weitere auf breiter Basis durchgeführte Untersuchungen erforderlich sein.

2. Wenn man versuchen will, eine Erklärung der Farbenänderungen lebender Pflanzenteile zu geben, ist es wichtig, die Frage zu beantworten, ob in dem aus diesen Organen extrahierten Farbstoffe auch durch Einwirkung verschiedener Faktoren Farbenwandlungen hervorgerufen werden können. Den Beobachtungen einer Anzahl von Forschern ist zu entnehmen, daß auch in wässerigen und alkoholischen Extrakten aus tingierten Pflanzenteilen Veränderungen der Farbennuance und Intensität auftreten und die Untersuchungen Molisch's und Fitting's haben gezeigt, daß speziell durch Temperaturwechsel reversible Farbenveränderungen in Anthokyanauszügen zustande kommen können. Einer bestimmten Temperatur entspricht ein gewisser Farbenton.

Bei meinen Untersuchungen handelte es sich zunächst um die Feststellung, welche Unterschiede in der Färbung beim Kochen und Abkühlen der Extrakte zu beobachten sind, wenn verschiedene Lösungsmittel verwendet werden (Alkohol, destilliertes Wasser). Schon bei der Herstellung der Auszüge, welche durch Kochen der gefärbten Pflanzenteile in destilliertem Wasser oder in 75% Alkohol gewonnen wurden, zeigten sich deutliche Verschiedenheiten in der Intensität und Nuance der Farbe der Auszüge, je nach dem Extraktionsmittel das zur Anwendung kam, obzwar sowohl die Wasserextrakte, als auch die Alkoholauszüge während des Kochens mehr oder weniger Rot enthielten. Die Versuche wurden mit Farbstofflösungen aus Blüten von *Matthiola incana, Paeonia* sp., *Rosa centifolia, Syringa persica, Iris germanica, Centaurea cyanus, Gentiana acaulis, Viola odorata* und *Dahlia* sp. und aus Blättern des Rotkrautes ausgeführt.

Bei abgekühlten Wasserextrakten kann, wenn während des Kochens ein bläulicher Ton vorhanden war, das Blau an Intensität zunehmen (*Viola*), in anderen Fällen kommt das Blau erst beim Abkühlen in verschiedener Stärke zum Vorschein (*Matthiola, Paeonia, Rosa, Syringa*), und in manchen Fällen verschwindet der rote Farbenton sogar vollständig (Rotkraut, *Iris, Gentiana*). Auszüge aus *Centaurea*-Blüten

enthalten nur mitunter einen schwachen blauen Schein, meist werden sie beim Abkühlen rosa oder gelblichrosa; auch manchen Extrakten aus *Paeonia*-Blüten fehlt das Blau. Gelblich und nur schwach tingiert waren die abgekühlten Lösungen des Farbstoffes aus *Dahlia*-Blüten, welche beim Kochen eine dunkelrote Farbe mit gelblichem Stich hatten.

Die Farbe einiger alkoholischer Extrakte enthält während des Kochens Blau (Rotkraut, *Matthiola, Iris, Centaurea, Dahlia, Paeonia, Syringa, Viola* und mitunter auch *Rosa*). Die Auszüge aus den fünf zuerst genannten Pflanzen waren blauer als die entsprechenden Wasserextrakte. Beim Abkühlen nahm die Farbenintensität der alkoholischen Lösungen stark ab und der blaue Ton der *Matthiola-, Iris-, Centaurea-, Paeonia-* und einiger Rosenextrakte wurde schwächer oder war nicht mehr zu konstatieren. Das Erkalten der *Paeonia-, Rosa-, Syringa-* und *Centaurea*-Lösungen hatte zur Folge, daß zur rötlichen oder Rosafärbung noch Gelb oder Braun hinzukam, die *Gentiana*-Extrakte wurden grünlichgelb oder schmutziggelb.

Bei den meisten dieser Auszüge wurde die Reversibilität der durch Kochen und Abkühlen erzielten Farbenreaktionen festgestellt.

3. Weitere Untersuchungen hatten den Zweck, das Verhalten der Farbstoffextrakte bei Einwirkung konstanter Temperaturen von 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 40° C zu prüfen.

In den Thermostaten verhielten sich die wässerigen und alkoholischen Anthokyanextrakte der verschiedenen Versuchspflanzen nicht gleich. Die einzelnen Auszüge unterschieden sich, derselben Temperatur ausgesetzt, im Farbenton, in der Intensität der Färbung und in der bei manchen abgekühlten Extrakten auftretenden gelblichen Farbe.

Gemeinsam war allen wässerigen Farbstofflösungen, bei denen ein blauer Farbenton überhaupt zur Entwicklung kam, bei niedrigeren Temperaturen das Auftreten von Blau, bei höheren Temperaturen die Zurückdrängung der blauen Farbe. In den Fällen, in denen bei höheren Temperaturen kein Umschlag in Gelb eintrat, wurde durch Steigerung der Temperatur die Rotfärbung begünstigt. Einige Auszüge zeigten das Verschwinden des Blau von zirka 25° an (*Matthiola, Iris, Centaurea, Gentiana*), andere schon bei niedrigeren Temperaturen. Mitunter scheint das Rot auch bei den niedrigsten in Anwendung gebrachten Temperaturen hervorzutreten (alkoholische und wässerige Rotkraut-, wässerige Veilchenextrakte). Auch in den alkoholischen Lösungen, welche beim Kochen einen blauen Ton zeigten, verschwindet meist das Blau in der Färbung bei höheren Temperaturen und die Auszüge nahmen nun einen rötlichen oder gelblichen Ton an. Die Farbenintensität der Alkoholextrakte geht, wenn die Temperatur herabgesetzt wird, zurück und erfährt eine Steigerung, wenn eine Erhöhung der Temperatur erfolgt. An einigen Wasser- und Alkoholextrakten wurde der Nachweis erbracht, daß die beobachteten Farbenumschläge reversibel sind.

4. Sehr große Unterschiede wiesen die einzelnen Anthokyanextrakte in der Widerstandsfähigkeit gegen höhere Temperaturen auf.

Die Wasserextrakte und Alkoholextrakte von *Matthiola* und Rotkraut und die alkoholischen Auszüge von *Paeonia* sind mehr resistent, weniger die wässerigen Extrakte von *Paeonia* und *Iris*. Eine noch geringere Widerstandsfähigkeit scheint den Alkoholextrakten von *Iris* zuzukommen. Empfindlich gegen höhere Temperaturen waren die wässerigen und alkoholischen Blütenauszüge von *Rosa, Gentiana* und *Viola*.

5. Die verschiedene Farbe der Extrakte, die bei einzelnen Versuchen mit ein und demselben Objekt, wenn das gleiche Lösungsmittel verwendet wurde, unter denselben äußeren Bedingungen wahrgenommen werden konnte, beruht wohl auf einer ungleichen Konzentration der hergestellten Auszüge. Hiefür sprechen Versuche mit Wasserextrakten von Rotkraut, *Matthiola* und Veilchen denen destilliertes Wasser in verschiedener Menge zugesetzt wurde. Es traten da Farbenumschläge auf, und zwar um so früher, je mehr destilliertes Wasser verwendet wurde; auch die Temperatur spielte hierbei eine Rolle.

6. Belichtete wässerige, respektive alkoholische Extrakte aus Rotkrautblättern und aus Blüten von *Matthiola, Paeonia* und *Iris* hatten eine blauere Färbung als verdunkelte Auszüge, welche also röter gefärbt waren. Auszüge von *Gentiana*-Blüten zeigten im Dunkeln zu einer Zeit, zu der die Lösungen im

Licht bereits graue oder gelbe Färbungen angenommen hatten, noch die blaue Farbe. Versuche mit Rotkrautextrakten (Wasser und Alkohol) sprechen dafür, daß eine Umkehrbarkeit der im Licht und im Dunkeln angenommenen Farbennuancen möglich ist. Wasser- und Alkoholextrakte von Rotkraut und *Iris* und Wasserextrakte von *Paeonia* waren im Lichte der stark brechbaren Strahlen (Kupferoxydammoniak) blauer als im Lichte der schwach brechbaren Strahlen (Kaliumbichromat).

7. In Wasser oder Alkohol gekochte Blütenblätter von *Centaurea, Rosa, Paeonia* und *Viola* verlieren ihre Farbe vollständig oder nahezu gänzlich. Läßt man solche farblos gewordene oder nur schwach tingierte Blütenblätter eintrocknen, so färben sie sich neuerlich, und zwar mitunter sehr intensiv.

Von den mit Wasser gekochten Organen wurden beim Eintrocknen die Blüten von *Centaurea* blau und violett, die Petalen von *Rosa* und *Paeonia* intensiv rosa und die von *Viola* blau. Mit Alkohol behandelte eintrocknende Rosen- und Pfingstrosenblütenblätter nahmen eine intensiv rotviolette Färbung, Veilchenblüten eine blaue Farbe mit rötlichem Stich an.

8. Filtrierpapierstreifen wurden in wässerige und alkoholische Auszüge gefärbter Pflanzenteile getaucht und längere Zeit darin belassen. Diese Papierstreifen waren nun meist, je nachdem, ob sie einem wässerigen oder alkoholischen Extrakt entstammten, verschieden tingiert.

Solche mit Farbstofflösungen durchtränkte Papiere veränderten, an der Luft getrocknet oder auf einer Asbestplatte über einer Flamme erwärmt, ihre Farbe.

Die Farbe aller mit den alkoholischen und wässerigen Extrakten der gefärbten Pflanzenteile imbibierten Papierstreifen enthielt, ob die Papiere nun beim Herausnehmen aus der Farbstofflösung gelblich, rosa oder blau tingiert oder farblos waren, wenn eine Zeitlang erwärmt wurde, Rot. So wurde ein roter, respektive rosa Farbenton bei *Centaurea* (Wasser- und Alkoholextrakte), *Paeonia* (Wasserextrakte) und Rotkraut (Wasser- und Alkoholextrakte), ein violetter Farbenton bei *Paeonia* (Alkoholextrakt), *Centaurea, Dahlia, Viola, Rosa* (Wasser- und Alkoholextrakte) beobachtet. Diese einmal angenommene rötliche Farbe blieb bei allen Papierstreifen, auch bei längerem Erwärmen, bestehen, nur die Veilchenextraktpapiere färbten sich später noch graublau und das Violett der Rosen-Alkoholextraktpapiere wurde bei längerem Erhitzen etwas röter. Bevor aber der rötliche Farbenton angenommen wurde, traten bei einigen der mit Farbstoffextrakten durchtränkten Papiere andere Farben auf, zum Beispiel Grün und Blau bei *Dahlia* (Wasser- und Alkoholextrakte), Blau bei *Viola* und Rotkraut (Alkoholextrakte). Manche Papiere entfärbten sich während des Erwärmens und tingierten sich dann wieder intensiv (*Rosa*).

Bei Verwendung von Veilchen- und Rotkrautauszügen fiel es auf, daß die mit Alkoholextrakten von Veilchen behandelten Papierstreifen, welche farblos waren, und die mit Alkoholextrakten von Rotkraut imbibierten Papiere, die rosa gefärbt waren, beim Erwärmen erst blau wurden, also eine Farbe zeigten, welche der ursprünglichen Färbung der Wasserextraktpapiere beim Herausnehmen aus der Farbstofflösung entsprach.

9. Mit Extrakten aus Blüten von *Dahlia, Viola* und *Rosa* und aus Blättern von Rotkraut durchtränkte Filtrierpapierstreifen, welche in Kammern mit konstanter Temperatur aufgehängt wurden, war die stärkste Blaufärbung bei Temperaturen von 5 bis 20° zu konstatieren. Von 20 oder 25° an nahm das Rot in der Färbung mit steigender Temperatur zu. Die Intensität der Färbung ging bei den Versuchen mit *Viola* und *Rosa* von 5 bis 20° zurück, sie war bei 25° am stärksten und wurde dann wieder schwächer. Rotkrautextraktpapiere, die bei 35 oder 40° einen rötlichen Farbenton zeigten, nahmen, in die 5°-Kammer übertragen, die für diese Temperatur charakteristische Färbung oder einen derselben sehr ähnlichen Ton an. Wenn auch zwischen den Papieren der einzelnen Kammern mit konstanter Temperatur, welche nur geringe Temperaturunterschiede aufwiesen, eine Differenz in der Färbung nicht immer genügend scharf zum Ausdruck kam, so war dieselbe doch bei größeren Abweichungen in der Temperatur sehr deutlich sichtbar.

10. Es stellte sich heraus, daß nicht nur der Temperaturunterschied, sondern auch der verschiedene Feuchtigkeitsgehalt der Luft in den Kammern einen Einfluß auf die Färbung der Filtrierpapierstreifen hat,

indem die Aufnahme oder Abgabe von Wasser beim Zustandekommen der beobachteten Farbentöne eine Rolle spielt.

Wie bereits oben erwähnt, verändern mit Extrakten aus gefärbten Pflanzenorganen durchtränkte Papierstreifen durch Erhitzen ihrer Farbe. Über Wasserdämpfen blaßt die Färbung mancher Papiere ab (*Paeonia*), in anderen Fällen geht die beim Erwärmen angenommene Farbe verloren und es tritt der ursprüngliche Farbenton auf (Rotkraut). Durch neuerliches Erwärmen kann die Wirkung des Wasserdampfes wieder rückgängig gemacht werden. Bei manchen Papieren findet eine Schwächung der Farbenintensität statt, wenn das Erwärmen eingestellt wird (*Paeonia, Rosa, Viola*). Farbenveränderungen, wie sie beim Erhitzen beobachtet werden, können auch durch das Eintrocknen feuchter Filtrierpapiere bei Zimmertemperatur erzielt werden.

Die mit Anthokyanextrakten von Rotkraut, *Matthiola, Rosa, Viola* und *Dahlia* behandelten Filtrierpapiere waren im Exsiccator bei 5° röter gefärbt als die in der 5°-Kammer freihängenden und die im feuchten Raume bei 40° befindlichen Papiere hatten eine blauere Farbe als die in der 40°-Kammer frei exponierten.

11. In vielen Fällen wirkten hohe Temperaturen und Wasserentziehung auf der einen und niedrige Temperaturen und Wasseraufnahme auf der anderen Seite in gleichem Sinne auf die Farbenänderung des extrahierten Farbstoffes ein, insoferne als im ersteren Falle durch beide Faktoren das Auftreten eines roten, im zweiten Falle das Auftreten eines blauen Farbentones begünstigt wurde. Blaufärbung wurde bei einigen Versuchen mit Anthokyanextrakten auch durch niedrige Temperaturen, Tageslicht und durch blaues Licht, Rotfärbung durch hohe Temperaturen, rotes Licht und durch Verdunklung gefördert.

Die Begünstigung eines bestimmten Farbentones durch Verdünnung der Farbstofflösungen konnte noch nicht nachgewiesen werden.

Durch die Einwirkung dieser Faktoren können also Farbenveränderungen der Extrakte, beziehungsweise des von Filtrierpapier aufgesogenen Farbstoffes zustande kommen. Die gleichen Faktoren, Temperatur, Licht und Feuchtigkeit, sollen, nach vorliegenden Beobachtungen bei manchen Pflanzen, einzeln und kombiniert wirkend zu einem Farbenwechsel lebender Pflanzenteile, der darin besteht, daß ein anderer Farbenton auftritt oder daß die Farbe in der Intensität zurückgeht oder verschwindet, führen. Es muß vorläufig unentschieden bleiben, inwiefern die Konzentration des Anthokyans im Zellsafte lebender Pflanzen auf die Färbung dieser Organe von Einfluß ist. Auch zur Klärung der Frage, ob die oben genannten Faktoren die Farbenwandlungen des Anthokyans direkt oder indirekt hervorrufen können, sind weitere Untersuchungen, womöglich mit reinem Anthokyan, erforderlich.

Literaturverzeichnis.

Askenasy E. Über die Zerstörung des Chlorophylls lebender Pflanzen durch das Licht. Botanische Zeitung, 1875, XXXIII, p. 457, 473, 496.

— Über den Einfluß des Lichtes auf die Farbe der Blüten. Botanische Zeitung, XXXIV, 1876, p. 1, 27.

Baur E. Einführung in die experimentelle Vererbungslehre, Berlin 1911.

Buscalioni L. und Pollaci G. Le Antocianine et il loro significato biologico nelle piante. Estratto degli Atti del Istituto Botanico dell' Università di Pavia. Nuova Serie, Vol. VIII, 1903, p. 76, 81, 86, 93, 140, 332, 344, 347, 355, 359.

Combes R. Rapports entre les composés hydrocarbonés et la formation de l'anthocyane. Annales d. scienc. naturelles, 9. sér., Bot. 1909, p. 275, 278.

— I. Du rôle de l'oxygène dans la formation et la destruction des pigments rouges anthocyaniques chez les végétaux. Comptes rendus des séances de l'académie des sciences, 1910.

— II. Sur le dégagement simultané d'oxygène et d'anhydride carbonique au cours de la disparition des pigments anthocyaniques chez les végétaux. Comptes rendus des séances de l'académie des sciences, 1910.

— III. Les échanges gazeux des feuilles pendant la formation et la destruction des pigments anthocyaniques. Revue générale de Botanique, XXII, 1910, p. 177.

— Untersuchungen über den chemischen Prozeß der Bildung der Anthokyanpigmente. I. Mitteilung. Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft, XXXI, 1913, p. 570.

Czapek F. Biochemie der Pflanzen, I, 1905, p. 471, I, 1913, p. 585 bis 594.

Eberhardt Ph. Influence de l'air sec et de l'air humide sur la forme et sur la structure des végétaux. Annales d. sciences naturelles, 8. sér., Bot. T., XVIII, 1903, p. 61, 114, 135.

Eisler M. v., und Porrheim L. v., Versuche über die Veränderung von Bakterienfarbstoffen durch Licht und Temperatur. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten, II. Abt., XL., 1914, Nr. 1/8.

Euler H. Grundlagen und Ergebnisse der Pflanzenchemie, I. Teil, Braunschweig 1908, p. 201.

Fischer H. Belichtung und Blütenfarbe. Flora, XCVIII, 1908, p. 380.

Fitting H. Über eigenartige Farbänderungen von Blüten und Blütenfarbstoffen, Zeitschrift für Botanik, IV, 1912, p. 81.

Glaser F. Indikatoren der Acidimetrie und Alkalimetrie. Wiesbaden, 1901, p. 123.

Goebel K. Einleitung in die experimentelle Morphologie der Pflanzen. Leipzig u. Berlin 1908.

Grafe V. Studien über das Anthokyan (I. Mitteilung). Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wissensch. i. Wien, CXV, I. Abt., 1906, p. 975.

— Über Farbstoffe im Pflanzenreich, Österreichische Rundschau, XI, 1907, p. 279, 284.

— Studien über das Anthokyan (II. Mitteilung). Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wissensch. i. Wien, CXVIII, Abt. I, 1909, p. 1033.

Grafe V. Studien über das Anthokyan (III. Mitteilung). Sitzungsberichte d. kais. Akad. d. Wissenschaften i. Wien, CXX, Abt. I, 1911, p. 765.

— Einführung in die Biochemie. Leipzig u. Wien, 1913, p. 286, 424, 442.

Halle W., Loewenstein E. und Přibram E. Bemerkungen über Farbenreaktionen des Triketohydrindenhydrats (Ninhydrin). Biochemische Zeitschrift, Bd. LV, p. 357.

Hildebrand F. Einige biologische Beobachtungen. 3. Experimente mit einer rotblütigen Pflanze von *Achillea Millefolium*. 5. Über den Einfluß der Temperatur auf die Farbe der Blüten *Ipomoea Learii* und *Ipomoea rubrocoerulea*. Berichte d. Deutschen botanischen Gesellschaft, 1904, XXII, p. 466, 471, 473.

Jones W. N. The Formation of the Anthocyan Pigmente of Plants. Part. V. The Chromogens of White Flowers. Proceedings of the Royal Society, 1913. Series *B*, Vol. LXXXVI, Nr. *B*, 588, Biological Sciences, p. 318.

Karzel R. Beiträge zur Kenntnis des Anthokyans in Blüten. Österreichische botanische Zeitschrift, 1906, p. 348, 377.

Katić D. Lj. Beitrag zur Kenntnis der Bildung des roten Farbstoffs (Anthocyan) in vegetativen Organen der Phanerogamen. Inauguraldissertation, Halle, 1905.

Keeble F., Armstrong E. F. and Jones W. N. The Formation of the Anthocyan Pigments of Plants. Part. IV. The Chromogens. Proceedings of the Royal Society, 1913, Series *B*, Vol. LXXXVI, Nr. *B*, 588, Biological Sciences, p. 308.

Kerner v. Marilaun A. Pflanzenleben, I, 1890, p. 364.

Klebs G. Über Variationen der Blüten. Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, 1906, XLII, p. 155.

Kühlhorn F. Beiträge zur Kenntnis des Etiolements. Inauguraldissertation, Göttingen, 1904, p. 79.

Küster E. Pathologische Pflanzenanatomie. Jena 1903, p. 38 bis 39, 57 bis 59.

— Aufgaben und Ergebnisse der entwicklungsmechanischen Pflanzenanatomie. Progressus rei botanicae II, 1908, p. 455, 512, 514.

Laqueur E. und Sackur O. Über die Säureeigenschaften und das Molekulargewicht des Kaseins und seine Spaltung beim Trocknen. Beitr. z. chem. Physiol. u. Path. III, 1903, p. 193.

Ley H. Die Beziehungen zwischen Farbe und Konstitution bei organischen Verbindungen. Leipzig 1911.

Macdougal D. T. The physiology of color in plants. Appletons Popular Science, 1896.

Marckwald W. Über Phototropie. Zeitschr. f. phys. Chemie. XXX, 1899, p. 140.

Marquart M. Die Farben der Blüten. Bonn, 1835, Zit nach Meyen F. J. F. Neues System der Pflanzenphysiologie, II, 1838, p. 430.

Masoni G. Versuche über die Extraktion des Farbstoffes aus der Kirsche und Untersuchungen über seine Eigenschaften. Staz. sperim. agrar. ital. 885 bis 907 (Okt. 1912). Pisa, Landw. chem. Lab. d. Univ. Ref. Chemisches Zentralblatt, 1913, I, p. 546.

Meyen F. J. F. Neues System der Pflanzenphysiologie, II, 1838, p. 441 ff.

Miyoshi M. Über die künstliche Änderung der Blütenfarben. Botanisches Zentralblatt, 1900, LXXXIII, p. 345.

Mohl H. v. Untersuchungen über die winterliche Färbung der Blätter (Dissertation vom Jahre 1837). Vermischte Schriften botanischen Inhalts. Tübingen, 1845, p. 375.

Molisch H. Über den Farbenwechsel anthokyanhaltiger Blätter bei rasch eintretendem Tode. Botanische Zeitung, 1889, XLVII, p. 17.

— Blattgrün und Blumenblau. Vorträge des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien, XXX, 1890, H. 3.

— Der Einfluß des Bodens auf die Blütenfarbe der Hortensien. Botanische Zeitung, 1897, LV, I. Abt., p. 49.

Molisch H. Über amorphes und krystallisiertes Anthokyan. V. Über die Farbenwandlung einer Blüte durch Änderung der Temperatur. Botanische Zeitung 1905, p. 145, 161.

— Mikrochemie der Pflanze. Jena 1913, p. 23, 236.

Nägeli C. und Schwendener S. Das Mikroskop. Leipzig 1877, II. Aufl., p. 499.

Neuberg C. Beziehungen des Lebens zum Licht. Berlin 1913.

Overton E. Beobachtungen und Versuche über das Auftreten von rotem Zellsaft bei Pflanzen. Jahrbücher für wissensch. Botanik, XXXIII, 1899, p. 171.

Palladin W. Über die Bildung der Atmungschromogene in den Pflanzen. Berichte d. Deutschen botan. Gesellschaft, XXVI*a*, 1908, p. 389.

Pfeffer W. Pflanzenphysiologie, 2. Aufl., 1897, I. Bd., p. 495.

Pick H. Über die Bedeutung des roten Farbstoffes bei den Phanerogamen und die Beziehungen desselben zur Stärkewanderung. Botanisches Zentralblatt, XVI, 1883, p. 281, 314, 343, 375.

Portheim L. v., und Scholl E. Untersuchungen über die Bildung und den Chemismus von Anthokyanen Berichte d. Deutschen botan. Gesellschaft, 1908, XXVI *a*, p. 480.

Przibram H. Die biologische Versuchsanstalt in Wien, Zeitschr. für biolog. Technik und Methodik, 1913, III, p. 163.

Reinhardt L. Kulturgeschichte der Nutzpflanzen, IV, 2. Hälfte, München 1911, p. 461.

Richter O. Über Anthokyanbildung in ihrer Abhängigkeit von äußeren Faktoren. Medizinische Klinik, 1907, Nr. 34.

Rupe H. und Altenburg H. *B.* Übrige Pflanzenfarbstoffe. Farbstoffe der Pflanzen- und Tierwelt E. Abderhalden: Biochemisches Handlexikon, VI, 1911, p. 23 bis 187.

Russo Ph. Des pigments floraux, Compt. Rend. Hebdomad. Société de Biologie, Paris, LXV, 11. déc. 1908, p. 579.

Sachs J. Über den Einfluß des Tageslichts auf Neubildung und Entfaltung verschiedener Pflanzenorgane. Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie, I, 1892, p. 179.

— Wirkung des Lichts auf die Blütenbildung unter Vermittlung der Laubblätter. Gesammelte Abhandlungen über Pflanzenphysiologie, I, 1892, p. 229.

Schell J. Über die Pigmentbildung in den Wurzeln einiger *Salix*-Arten. Beilage zu dem Protokoll der 95. Sitzung der Naturforschergesellschaft an der Universität zu Kazan. Ref.: Just. Botanischer Jahresbericht, V, 1877, 1, p. 562.

Schwertschlager J. Die Farben der Blüten und Früchte bei den Rosen und anderen einheimischen Phanerogamen. Denkschr. d. königl. bayr. botan. Gesellsch. in Regensburg, XI, 1911.

Senebier J. Mémoires physico-chimiques. Genève, 1782, T. II, p. 99, T. III, p. 103, zitiert nach Vöchting, Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, 1893, XXV, p. 155.

Stahl E. Über bunte Laubblätter. Ein Beitrag zur Pflanzenbiologie, II, Annales du jardin botanique de Buitenzorg, 1896, XIII, p. 137.

Stobbe H. Chemische Lichtwirkungen. Zeitschr. f. angewandte Chemie, 1908, XXI, p. 388.

— Die Fulgide. Justus Liebigs Annalen der Chemie, 1911, CCCLXXX, H. 1.

Tischler G. Über die Beziehungen der Anthocyanbildung zur Winterhärte der Pflanzen. Beihefte z. botan. Zentralblatt. Originalarbeiten, 1905, XVIII, Abt. I, p. 452.

Tobler G. Über Anthocyane. Sammelreferat. Naturwissenschaftliche Rundschau, Bd. XXII, 1907, p. 652.

Treviranus L. Ch. Physiologie der Gewächse, II, Bonn, 1838, p. 58.

Tswett M. Beiträge zur Kenntnis der Anthokyane. Über künstliches Anthokyan. Biochemische Zeitschrift, 1913, LVIII, p. 225.

Tswett M. Zur Kenntnis des »vegetabilischen Chamäleons«. Berichte der Deutschen botan. Gesellschaft, 1914, XXXII. p. 61.

Vöchting H. Über den Einfluß des Lichtes auf die Gestaltung und Anlage der Blüten. Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik 1893. XXV, p. 149, 185.

Vouk V. Einige Versuche über den Einfluß von Aluminiumsalzen auf die Blütenfärbung. Österreichische botanische Zeitschrift, 1908, p. 236.

Wheldale M. I. On the nature of anthocyanin. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, Vol. XV, 1909, Pt. II, p. 137.

— II. Further observations upon the inheritance of flowercolour in Antirrhinum Majus and Note on the physiological interpretation of the Mendelian factors for colour in plants. Reports to Royal Societys Evolution Committee, Report V, 1909.

— III. The Colours and Pigments of Flowers, with Special Reference to Genetics. Proceedings of the Royal Society, *B*, Vol. LXXXI, 1909, p. 44.

— Plant oxydases and the chemical interrelationships of colour-varieties. Progressus rei botanicae, III, 1910, p. 457.

— On the formation of Anthocyanin. Journal of Genetics, Vol. I, Nr. 2, 1911, p. 133.

Wiesner J. Einige Beobachtungen über Gerb- und Farbstoffe der Blumenblätter. Botan. Zeitung, 1862, XX, p. 389.

— Untersuchungen über die Farbstoffe einiger für chlorophyllfrei gehaltenen Phanerogamen. Jahrbücher für wissensch. Botanik, 1872, VIII, p. 575.

— Anatomie und Physiologie der Pflanzen. 5. Aufl., Wien 1906, p. 65, 368.

Wigand A. Einige Sätze über die physiologische Bedeutung des Gerbstoffes und der Pflanzenfarbe. Botan. Zeitung, 1862, XX, p. 121.

Wilstätter R. Untersuchungen über die Anthocyane. Willstätter R. und Everest A. E. I. Über den Farbstoff der Kornblume. Justus Liebigs Annalen der Chemie, CCCCI, 1913, p. 189.

Wittmack L. Einige wilde knollentragende Solanumarten. Berichte der Deutschen botan. Gesellsch., 1913, XXI, Generalversammlungsheft, p. (10).

Nachtrag.

Combes R. Formation de pigments anthocyaniques déterminée dans les feuilles par la décortication annulaire des tiges. Annales d. scienc. naturelles, 9. sér. Bot. XVI. 1912, p. 1.

De Toni M. J. B. Observations sur l'anthocyane d'Ajuga et de Strobilanthes. Comptes rendus de l'Association Française pour l'avancement des sciences. Congrès de Reims. 1907, p. 415.

Schnetzler J. B. Über Veränderungen des roten Farbstoffes von *Paeonia officinalis* unter dem Einfluß chemischer Reagentien. Botanisches Zentralblatt. I. 1880, p. 682.